

T S1/5/1

1/5/1  
DIALOG(R) File 347:JAPIO  
(c) 2005 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

04323525 \*\*Image available\*\*

PROJECTION OPTICAL APPARATUS

PUB. NO.: 05-315225 [JP 5315225 A]  
PUBLISHED: November 26, 1993 (19931126)  
INVENTOR(s): TANIGUCHI TETSUO  
APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP  
(Japan)  
APPL. NO.: 04-146367 [JP 92146367]  
FILED: May 13, 1992 (19920513)  
INTL CLASS: [5] H01L-021/027; G02B-007/28; G03F-007/207; G05D-003/12  
JAPIO CLASS: 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components); 22.3 (MACHINERY  
-- Control & Regulation); 29.1 (PRECISION INSTRUMENTS --  
Photography & Cinematography); 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS --  
Optical Equipment); 42.5 (ELECTRONICS -- Equipment)  
JAPIO KEYWORD: R002 (LASERS)  
JOURNAL: Section: E, Section No. 1515, Vol. 18, No. 116, Pg. 116,  
February 24, 1994 (19940224)

#### ABSTRACT

PURPOSE: To perform the good focusing operation of the title apparatus even when a spherical aberration is caused in a projection optical system.

CONSTITUTION: The title apparatus is provided with the following: focal-position detection systems 15, 19, 20, 21 which find the focal position of a projection optical system PL by using a reference pattern 18 on a wafer stage WS; a bar-code reader 22 to which the line width of a pattern on a reticle R is input; a spherical-aberration operation device 11 which finds the change amount of the spherical aberration of the projection optical system PL; and a focal-position correction device 14 which corrects the focal position, of the projection optical system PL, which has been found by means of the focal-position detection systems on the basis of the line width of the pattern on the reticle R and of that of the reference pattern and on the basis of the change amount of the spherical aberration.  
?

DialogClassic Web(tm)

T S3/5/1

3/5/1  
DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

009723475 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1994-003325/199401

XRPX Acc No: N94-002551

Projection optical system for projection aligner - corrects position of  
focal point using widths of mask pattern and reference pattern and amount  
of change in astigmatism or spherical aberration NoAbstract

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR )

Number of Countries: 001 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 5315225	A	19931126	JP 92146367	A	19920513	199401 B
JP 3209284	B2	20010917	JP 92146367	A	19920513	200156

Priority Applications (No Type Date): JP 92146367 A 19920513

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 5315225	A	12	H01L-021/027	
JP 3209284	B2	11	H01L-021/027	Previous Publ. patent JP 5315225

Abstract (Basic): JP 5315225 A

Dwg.1/11

Title Terms: PROJECT; OPTICAL; SYSTEM; PROJECT; ALIGN; CORRECT; POSITION;  
FOCUS; POINT; WIDTH; MASK; PATTERN; REFERENCE; PATTERN; AMOUNT; CHANGE;  
ASTIGMATIC; SPHERE; ABERRATION; NOABSTRACT

Derwent Class: P81; P84; U11

International Patent Class (Main): H01L-021/027

International Patent Class (Additional): G02B-007/28; G03F-007/207;

G05D-003/12

File Segment: EPI; EngPI

?

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-315225

(43)公開日 平成5年(1993)11月26日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 01 L 21/027				
G 02 B 7/28				
G 03 F 7/207	H 9122-2H	7352-4M	H 01 L 21/30	3 1 1 N
		7811-2K	G 02 B 7/11	M

審査請求 未請求 請求項の数2(全12頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平4-146367

(22)出願日 平成4年(1992)5月13日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 谷口 哲夫

東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式  
会社ニコン大井製作所内

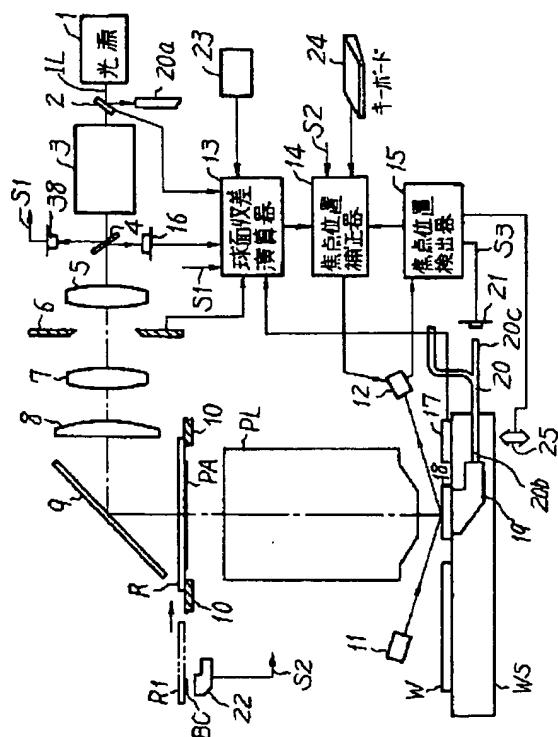
(74)代理人 弁理士 大森 聰

(54)【発明の名称】 投影光学装置

(57)【要約】

【目的】 投影光学系に球面収差が発生しても、良好な焦点合わせを行う。

【構成】 ウエハステージWS上の基準パターン18を用いて投影光学系PLの焦点位置を求める焦点位置検出系15, 19, 20, 21と、レチクルR上のパターンの線幅を入力するバーコードリーダー22と、投影光学系PLの球面収差の変化量を求める球面収差演算器13と、レチクルRのパターン及び基準パターンの線幅並びに球面収差の変化量に基づきその焦点位置検出系により求められた投影光学系PLの焦点位置の補正を行う焦点位置補正器14とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスク上のパターンを第1照明光で照明する照明光学系と、前記マスクのパターンの前記第1照明光のもとでの像をステージ上の基板上に投影する投影光学系とを有する投影光学装置において、前記マスク上又は前記ステージ上に設けられた基準パターンと、

該基準パターンを用いて前記投影光学系の焦点位置を求める焦点位置検出手段と、

前記マスク上のパターンの線幅を入力する線幅入力手段と、

前記投影光学系の球面収差又は非点収差の変化量を求める収差量演算手段と、

前記線幅入力手段からの前記マスク上のパターンの線幅の情報、前記基準パターンの線幅の情報及び前記収差量演算手段からの球面収差又は非点収差の変化量の情報に基づき前記焦点位置検出手段により求められた前記投影光学系の焦点位置の補正を行う焦点位置補正手段とを備えた事を特徴とする投影光学装置。

【請求項2】 マスク上のパターンを第1照明光で照明する照明光学系と、前記マスクのパターンの前記第1照明光のもとでの像をステージ上の基板上に投影する投影光学系とを有する投影光学装置において、

前記マスク上又は前記ステージ上に設けられた基準パターンと、該基準パターンを用いて前記投影光学系の焦点位置を算出する焦点位置検出手段と、

前記投影光学系の球面収差又は非点収差の変化量を求める収差量演算手段と、該収差量演算手段により求められた球面収差又は非点収差の変化量に基づき前記焦点位置検出手段の焦点位置の算出動作を中断する制御手段とを備えた事を特徴とする投影光学装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等の微細加工に用いられる焦点位置検出機構を備えた投影露光装置に適用して好適な投影光学装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等をフォトリソグラフィー技術を用いて製造する際に、レチクルのパターンを投影光学系を介して感光基板上に転写する投影露光装置が使用されている。転写されるパターンが微細化されるのに応じて、投影露光装置における投影光学系の開口数は大きくなり、焦点深度はより浅くなっている。そこで、感光基板の露光面を焦点深度の範囲内で投影光学系の結像面（焦点位置）に合わせ込む焦点合わせ機構（オートフォーカス機構）についてもより高精度化することが求められている。

【0003】 従来のこの種の装置の焦点合わせ機構としては、例えば照射光学系により感光基板のショット領域の例えは中央部にスリットパターンの像を投影し、受光光学系によりそのスリットパターンの像を光量の分布の重心位置が検出できる光電センサーの受光面に再結像する機構が知られている。この機構によれば、感光基板が投影光学系の光軸方向に移動すると、そのスリットパターンの再結像された像の位置が変化することから、その感光基板と投影光学系との距離を計測することができる。そして、常に投影光学系と感光基板との距離が一定になるよう制御することにより、オートフォーカスが動作していた。

【0004】 しかし、投影光学系の焦点位置は、大気圧の変化あるいは露光光の吸収による投影光学系の温度上昇等により常に変化しており一定ではない。このため従来より例えば特開昭60-78454号公報等に開示されているように、大気圧変化、露光光の吸収量等に応じて焦点合わせ機構の照射光学系及び受光光学系により計測された距離に対して刻々と対応するオフセットを加算して焦点位置変化に追従する方法が提案され実用化されている。しかしながらこの方法も、直接焦点位置を検出しているのではなく、焦点位置の変化の原因を測定して間接的に補正をしているのに過ぎなく、予想外の原因による焦点位置変化（例えば衝撃、オペレートミス等）あるいは装置の長期的な変化（例えば応力の開放、化学物質の経年変化等）には追従できず完全なものとは言いがたい。

【0005】 また、投影光学系の焦点位置を直接的に測定する方法としては、例えば感光基板の投影光学系からの距離を微妙に変化させてパターンをテスト的に露光して現像し、顕微鏡で観察して像のコントラストが最大の位置を求める方法があるが、時間と労力がかかり頻繁に実施できるものではない。このため、この種の装置においては、露光及び現象という過程を経ずに直接に投影パターン像を光電検出して投影光学系の焦点位置の変化を検出して、上述の間接的に計測した投影光学系と感光基板との距離の補正を行う方法が種々提案されている。

【0006】 直接に焦点位置の変化を検出する方法としては、例えば、感光基板に隣接して設けた基準パターンの像を投影光学系を介して光電センサーで受光しその受光量が最大になる位置を検出する方法、あるいは、レチクルの上方からこのレチクルのパターンを照明し、その照明光の感光基板からの反射光をレチクルのパターンを介して受光し、この受光量が最大になる位置を検出する方法がある。また、逆に感光基板側に設けた基準パターンを照明し、その照明光のレチクルからの反射光を基準パターンを介して光電センサーで受光し、その受光量が最大になる位置を検出する方法、あるいは、所定のパターンからの光束を2分割して各々の光束でパターンの位置計測を行いそのずれ量より焦点位置を検出する方法等

3

も知られている。これらのうちいくつかは、後に詳述する。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記の如き従来の技術においては、焦点位置検出用のパターンは一定の決められた線幅のもので、常に実際に投影すべきパターンの線幅と一致しているとは限らない。また、上記の技術のうちいくつかはレチクルの位置合わせ用マーク、あるいは感光基板の位置合わせ用マーク等を用いるため、通常は実際に投影すべきパターンに比べて線幅は大きい。

【0008】ところで、投影光学系は露光光の吸収により温度が上昇するが、投影光学系全体で一様且つ均一に温度が上昇するわけではない。特に投影光学系の断面で考えると、中心部はレンズを構成するガラスで周囲はそのガラスをホールドする金属で構成されており、露光光はガラスで吸収されてガラスの温度が上昇し、その熱は周囲の金属へ逃げて行く。これにより、ガラスの中心部ほど温度が高くなりガラスの周辺部、即ち金属に近い部分の温度の上昇が小さいことが予想される。特にレチクルのパターンに対するフーリエ変換面（以下、「投影光学系の瞳面」という）の近傍では通常レンズの中心部を0次回折光が通り、周辺部は0次光よりパワーの落ちる1次以上の回折光が通るため、中心部の温度上昇は顕著である。この現象により、凸レンズにおいては中心部が膨張して曲率半径が小さくなり、しかも一般的に温度上昇に伴い屈折率が大きくなり、レンズの中心部を通る光線は投影光学系により近い所に焦点を結び、周辺部を通る光線の焦点位置とずれが生ずる。従って、球面収差が発生することが考えられる。

【0009】このことは、レチクル上の線幅の異なるパターンはレチクルから回折光が射出される角度が異なり、線幅により投影光学系の瞳面付近での光線の通過位置が異なるため、線幅により投影光学系の焦点位置が変化することを意味する。すなわち、焦点位置検出用のパターンの線幅と、投影されるべきパターンの線幅とが異なるときには、投影光学系を構成するレンズの露光光吸収によって発生する球面収差により、焦点合わせ機構により検出された焦点位置と本来投影されるべきパターンの焦点位置との間にずれが生じ高精度な焦点位置合わせができなくなるという不都合があった。

【0010】また、近時は投影光学系の瞳面上に形成される2次光源の像が光軸に対して完全に軸対称なものばかりではなく、例えば所謂複数傾斜照明のように光軸から離れた複数の領域に集中して2次光源の像が形成されるような照明法も提案されている。このような場合には、露光光の照射により投影光学系を構成するレンズが光軸に関して非対称に変形し、それにより非点収差等が発生し、これにより高精度な合焦ができない場合もあり得る。本発明は斯かる点に鑑み、投影光学系に球面収差又は非点収差が発生しても、良好な焦点合わせを実行できることを目的とする。

4

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の投影光学装置は、例えば図1に示す如く、マスクR上のパターンを第1照明光で照明する照明光学系（1, 3, 5～9）と、そのマスクRのパターンのその第1照明光のもとでの像をステージWS上の基板W上に投影する投影光学系PLとを有する投影光学装置において、そのマスクR上又はそのステージWS上に設けられた基準パターンと、この基準パターンを用いてその投影光学系PLの焦点位置を求める焦点位置検出手段（15, 19, 20, 21）と、そのマスクR上のパターンの線幅を入力する線幅入力手段（22）と、その投影光学系PLの球面収差又は非点収差の変化量を求める収差量演算手段（13）と、その線幅入力手段（22）からのそのパターンの線幅の情報、基準パターンの線幅の情報及びその収差量演算手段（13）からの球面収差又は非点収差の変化量の情報に基づきその焦点位置検出手段により求められたその投影光学系の焦点位置の補正を行う焦点位置補正手段（14）とを備えたものである。

【0012】また、本発明による第2の投影光学装置は、例えば図1に示す如く、マスクR上のパターンを第1照明光で照明する照明光学系（1, 3, 5～9）と、そのマスクRのパターンのその第1照明光のもとでの像をステージWS上の基板W上に投影する投影光学系PLとを有する投影光学装置において、そのマスクR上又はそのステージWS上に設けられた基準パターンと、この基準パターンを用いてその投影光学系PLの焦点位置を算出する焦点位置検出手段（15, 19, 20, 21）と、その投影光学系PLの球面収差又は非点収差の変化量を求める収差量演算手段（13）と、この収差量演算手段（13）により求められた球面収差又は非点収差の変化量に基づきその焦点位置検出手段の焦点位置の算出動作を中断する制御手段（14）とを備えたものである。

## 【0013】

【作用】斯かる本発明の第1の投影光学装置によれば、焦点位置検出手段で用いる基準パターンの線幅と実際に露光されるマスク上のパターンの線幅との差を線幅入力手段（22）により知ることができ、収差量演算手段（13）により現在の球面収差又は非点収差の量を知ることができる。また、焦点位置補正手段（14）が求め線幅差と球面収差又は非点収差による焦点位置との関係を求めて記憶しておけば、焦点位置検出手段で得られた現在の焦点位置と實際露光されるパターンの焦点位置との差を上記の関係から求めることができる。従って、実際に露光されるパターンの焦点位置を求めることができ、これにより、投影光学系に球面収差又は非点収差が発生しても、良好な焦点合わせを実行できる。

【0014】また、本発明の第2の投影光学装置によれば、

ば、投影光学系が第1照明光の吸収による影響を受けていないとき、即ち球面収差又は非点収差の変化が起きていない状態のときのみ焦点位置検出手段により投影光学系の焦点位置の検出が行われる。逆に、焦点位置検出手段で求められた値を計算で補正しても焦点位置の誤差が生ずると考えられる場合、あるいは線幅入力手段がない場合等で計算による補正を行わない場合等には、焦点位置の検出が行われず焦点合わせが行われない。従って、良好な焦点合わせが実行できる状態でのみ焦点合わせが実行される。

[0 0 1 5]

【実施例】以下、本発明による投影光学装置の一実施例につき図1～図9を参照して説明する。本実施例は、半導体素子製造用のステップアンドリピート方式の縮小投影型露光装置（ステッパー）に本発明を適用したものである。図1は本実施例の装置全体の概略の構成を示し、この図1において、1は例えば超高圧水銀ランプよりなる光源であり、この光源1はレジスト層を感光するような波長域（i線等の輝線）の露光光ILを発生する。露光光ILとしては、超高圧水銀ランプの輝線の他に、KrFエキシマレーザ若しくはArFエキシマレーザ等のレーザ光又は金属蒸気レーザやYAGレーザ等の高調波等を用いても良い。

【0016】光源1から射出された露光光ILは、露光動作に合わせて開閉するシャッター2を通過する。シャッター2が開状態の場合、露光光ILはフライアイレンズ等で構成されるオプティカルインテグレータ3に入射し、所定の照明条件でレチクル(マスク)Rを照明する様に整形される。露光光ILは更にハーフミラー4、リレーレンズ5、可変ブラインド6、リレーレンズ7及びメインコンデンサーレンズ8を通過してミラー9に至り、ここでほぼ垂直に下方に反射された後、レチクルホルダー10に支持されたレチクルRのパターン領域PAをほぼ均一な照度で照明する。

【0017】オプティカルインテグレータ3から射出された露光光ILの内でハーフミラー4により反射された光が光電センサー38により受光され、光電センサー38から出力される検出信号S1（露光光ILのパワーを示す信号）が後述の球面収差演算器13に供給される。更に、ハーフミラー4により、露光光ILによるウエハWからの反射光が反射率センサーとしての光電センサー16へ導かれ、光電センサー16の出力信号が球面収差演算器13に供給される。光電センサー16の役割は後述する。

【0018】可変ブラインド6の面はレチクルRと共に複数の可動ブレードを組成する複数の可動ブレードを開閉させて開口部の大きさ、形状を変えることにより、レチクルRの照明視野を任意に設定できる。この可変ブラインド6の開口部の大きさ及び形状の情報を並びにシャッター2の開閉の情

報を球面収差演算器13に供給する。また、レチクルRのパターン領域PAの外部にはレチクルの種類等を示すバーコードBCが記録され、レチクルRが位置R1に在るときにそのバーコードBCをバーコードリーダー22で読み取ることができる。バーコードリーダー22はその読み取った情報を信号S2として後述の焦点位置検出器14に供給する。

【0019】レチクルRのパターン領域PAを通過した露光光ILは投影光学系PLに入射し、投影光学系PLはレチクルRの回路パターンの投影像を表面にレジスト層が形成されその表面が最良結像面にはほぼ一致するよう保持されたウエハW上の1つのショット領域に重ね合わせて結像する。ただし、図1では説明の都合上ウエハW上に結像はしていない。

【0020】ウエハWはウエハステージWS上に保持され、ウエハステージWSはZ軸駆動系25により投影光学系PLの光軸方向(Z方向)に微動可動であると共に、ステップ・アンド・リピート方式で投影光学系PLの光軸に垂直な面内で2次元的に移動可能に構成されている。ウエハW上の1つのショット領域に対するレチクルRのパターンの転写露光が終了すると、ウエハステージWSによりウエハWの次のショット領域までステッピングされる。尚、ウエハステージWSの詳細な構成等については例えば特開昭62-274201号公報に開示されている。

【0021】次に、図1の例の焦点位置検出機構につき説明する。図1において、照射光学系11は、ピンホール又はスリット等の像を形成するための結像光束を、上方より投影光学系PLの光軸に対して斜めに被検面に供給し、受光光学系12は、その結像光束の被検面での反射光束を受光して光電センサーの受光面上に再結像する。これら照射光学系11及び受光光学系12より間接方式で斜入射方式の位置検出系が構成されている。この位置検出系は間接的に投影光学系PLの最良結像面と被検面との距離(合焦状態)を計測するものである。この位置検出系の構成等は、例えば特開昭60-168112号公報に開示されている。

2号公报に示す。

【0022】なお、本実施例では、投影光学系PLの最良結像面と被検面とが合致しているときに計測結果が零 (0) になるように、即ち零点基準になるように、予め受光光学系12の内部に設けられた不図示の平行平板ガラス(プレーンパラレル)の角度が調整される。この平行平板ガラスの角度調整は、焦点位置補正器14の指示により実行される。平行平板ガラスの角度調整は、後述するように大気圧変化及び露光光の吸収等に応じて刻々と計算される焦点位置の変化量に対応して常に自動的に行われている。また、後述するように、直接方式の焦点位置検出系で計測された焦点位置へウエハW等の被検面の表面が来たときに、間接方式の位置検出系の計測結果が零 (0) となるように受光光学系12の平行平板ガラ

スの角度のキャリブレーションが行われる。

【0023】次に、本実施例の直接方式の焦点位置検出系の説明を行う。既に述べたように従来より種々の方式が考案されているが、図1ではその中で最も実用性が高い方式の一つを示す。後に他の方式についても簡単に説明を行う。先ず、図1において、ウエハステージWS上のウエハWの近傍には焦点位置検出用の基準パターン18が設けられている。基準パターン18はガラス板上に例えばクロムを蒸着して、図2に示すようなライン・アンド・スペースの連続パターンを描いたものである。キャリブレーションを行うときには、図1の様に投影光学系PLの直下に基準パターン18が位置する。このとき、位置検出系11、12は基準パターン18のZ方向の位置をモニターすることができる。

【0024】この場合、光源1から射出された露光光ILがシャッター2により2分岐ファイバー20の入射端20aに入射し、このように入射した露光光ILが2分岐ファイバー20の入射出端20bに導かれる。この入射出端20bから射出された露光光ILはウエハステージWSの内部の照明光学系19を経て下方から基準パターン18を照明する。基準パターン18を射出した露光光は、通常露光時とは逆に投影光学系PLを経てレチクルRのパターン面に達し、基準パターン18の現在の配置面がレチクルRと共にある場合、レチクルRのパターン面に基準パターンの像が結像される。レチクルRのパターン面に達した露光光は再び投影光学系PLを介して基準パターン18へ戻り、基準パターン18上で再び基準パターン18の像が再結像される。

【0025】その後、基準パターン18を通過して戻った露光光は照明光学系19、2分岐ファイバー20の入射出端20b及び射出端20cを経て光電センサー21に達する。即ち、基準パターン18の像がレチクルRの下面に投影され、その反射光の中で再び基準パターン18を通過してウエハステージWSの内部に戻った光が光電センサー21で受光される。この光電センサー21からの検出信号S3を焦点位置検出器15に供給する。この焦点位置検出器15には、受光光学系12で間接的に検出した投影光学系PLの焦点面と基準パターン18との距離の情報をも供給する。基準パターン18を用いて投影光学系PLの焦点位置を検出するには、ウエハステージWSをZ方向にスキャンし、光電センサー21から出力される検出信号S3が最大となる位置を検出する。

【0026】このときの検出信号S3の波形の一例を図4に示す。座標Za(=B.F.)が基準パターン18が焦点位置にあるときのZ座標であり、座標Zaをほぼ中心として検出信号S3の値は凸状に変化する。この場合、焦点位置検出器15はZ軸駆動系25にZ方向にウエハステージWSを走査するコマンドを供給すると同時に、位置検出系の受光光学系12で検出された基準パターン18のZ方向の座標を図4の横軸として、光電セン

10

20

30

40

サー21から出力された検出信号S3を図4の縦軸としてプロットする。そして、検出信号S3が最大になる点より、焦点位置検出器15は焦点位置の座標Za(=B.F.)を検出する。

【0027】本方法の原理を図3を参照して説明する。図3(c)は基準パターン18の一例を示し、18aはクロム蒸着膜等による遮光部である。前記の様に基準パターン18とレチクルRのパターン面とが共役な位置にあるとき、図3(c)の基準パターン18を通過した露光光はレチクルRで反射されて、基準パターン18上で再び基準パターン18の像が結像される。この場合の基準パターン18の像の強度分布は、図3(b)の分布Caに示すように、基準パターン18自体の明暗の分布とほぼ一致し、基準パターン18の透過部を介してほぼ大部分の光がウエハステージWSに戻っていく。一方、基準パターン18がレチクルRのパターン面と共役な面から若干ずれている場合、レチクルRからの反射光により再結像された基準パターン18の像は、図3(a)の分布Cbに示すようにコントラストが低下する。この場合、図3(a)の分布Cb中の斜線部は、図3(c)の基準パターン18の遮光部(非透過部)18aに重なり、基準パターン18を通過していくことができず、光電センサー21に達する光量は減少する。図3(a)及び(b)の状態はそれぞれ図4のZ座標がZa及びZbの特性に相当する。

【0028】以上の様に基準パターン18が投影光学系PLの焦点位置に来たとき、光電センサー21から出力される検出信号S3は最大となる。光束の干渉現象により、図4に示すように、検出信号S3はピークの両側で凹状に落ち込む波形となる。また、基準パターン18は非点収差を考慮して、図2の様に多方向のパターンの組み合わせとなっている。

【0029】上記と同様の原理を使った例として例えば特開昭57-212406号公報に開示されている様に、レチクルR側にパターンを設けウエハ側より反射される光量の最大値を検出する方法も知られている。この方法は特別なレチクル又は焦点検出用のマークが必要であるが、実際に使用されるレチクルの中心にマークを入れることは困難であるため、実際の使用時に投影光学系PLの光軸中心の焦点位置が検出できないという不都合がある。

【0030】また、図1において、基準パターン18の近傍のウエハステージWS上には照射量センサーとしての光電センサー17が配置され、この光電センサー17の検出信号が球面収差演算器13に供給されている。23は種々の特性等の情報を記憶した記憶装置を示し、球面収差演算器13は隨時その記憶装置23の記憶内容を読み出すことができる。また、24はキーボードである。

【0031】次に、投影光学系PLの露光光吸収による

球面収差について説明を行う。投影光学系PLは露光光ILに対し非常に透過率の高い材料で作られているが、前記の様に微少ながらも露光光を吸収し投影光学系PLの結像内の温度が上昇する。このため、投影光学系PLの結像特性が変化するが、特に球面収差は、既に従来技術の説明で述べた通り、投影光学系PLの半径方向の中心部の温度が周囲より上昇することにより、投影光学系PLの中心部を通る光束が周辺部を通る光束と比較して投影光学系PLにより近い所で焦点を結ぶことにより発生する。これを模式的に示したのが図5である。図5(a) 10 10は露光光吸収のない状態を示し、投影光学系PLの周辺部を通る光束(実線)も中心部を通る光束(点線)もほぼ一点で焦点を結んでいる。図5(b)は露光光を吸収した状態を示し、投影光学系PLの温度が上昇することにより、周辺部及び中心部を通る光束とも焦点位置が上方(投影光学系PLに近い方向)に移動するが、より温度上昇の大きい中心部を通る光束がより上方で焦点を結ぶように変化している。

【0032】上記の周辺部を通る光束及び中心部を通る光束は、それぞれ細い線幅のパターン及び太い線幅のパターンに対応する光束と言いかえることができる。つまり、投影光学系PLの解像限界に近い細いパターンの回折光は、投影光学系の開口絞りAP一杯に広がり投影光学系PLを通過するが、太いパターンの回折光は回折角が小さく投影光学系の中心部のみを通過する。このことにより、線幅による焦点位置差が発生する。

【0033】図6は以上の現象を時間変化で示し、図6の時刻 $t_0$ より露光動作を開始したとして、例えば露光ILを1線、投影光学系PLの開口数NAを0.5程度とする。この場合、解像限界に近いピッチが0.5μmのライン・アンド・スペースパターン(0.5μmL/S)とそれより比較的太い0.8μmL/Sパターンとを想定し、各々の焦点位置変化を図6に示す。実際の露光動作では、ウエハの交換及びウエハのステップ・アンド・リピートによる位置決め等により、図6の如くスムーズな曲線とはならない。しかしながら、大まかな変化特性は図6に示すように、時間と共に0.8μmL/Sパターンの変化が大きくなり、やがて一定レベルで飽和する。なお、図6は、時刻 $t_1$ において露光動作を終了している例であり、この時刻 $t_1$ において、0.8μmL/Sパターンの焦点位置と0.5μmL/Sパターンの焦点位置との差、即ち焦点位置差 $dF$ は比較的大きな値となっている。

【0034】この様な場合、前記の直接方式の焦点位置検出系で使用している基準パターン18が解像限界付近のパターンで、実際に露光されるレチクルRのパターンが太い線幅であるときには、太い線幅の方が焦点深度が大きくとれる。従って、太い線幅で大きくなった焦点深度で焦点位置差 $dF$ が十分に吸収できる場合には、特に不都合は生じない。ところが、焦点深度差 $dF$ が大き

く、且つ太い線幅で大きくなつた焦点深度でその焦点深度差 $dF$ を吸収しきれない場合、又は焦点位置検出系で使用する基準パターン18の線幅が実際に露光されるパターンの線幅より太い場合、焦点位置検出系を用いて焦点位置合わせを行うと、実際に露光するパターンの焦点位置に対してそれが生じてしまう不都合がある。

【0035】次に、図1の装置において、球面収差量を補正しながら焦点位置合わせを行う方法の説明を行う。投影光学系PLの露光光吸収により変化する結像特性には、前記のような球面収差のみならず、焦点位置変化及び倍率変化等があり、これらの変化量を予測し補正を行う方法が用いられている。これは、投影光学系PLに入射する露光光のエネルギーの変化より逐次焦点位置、倍率等の変化量を計算する機能を持っているため、同様の方法で球面収差量の変化を逐次計算することができる。球面収差量、焦点位置及び倍率は発生原因となる投影光学系PLの場所、メカニズムが異なり同一の変化特性とはならないため、各々について計算を行なう必要がある。

【0036】以下、具体的に収差量の変化量の計算法を主に図1及び図7を参照して説明する。前記のように、露光光吸収によって発生する収差量は、図6のカーブで示したように、熱が内部に蓄積されるのに応じて次第に増加した後に一定レベルで飽和し、露光を停止すると急激に減衰するという変化を示す。この現象は時間に関する一次の微分方程式で表すことができるもので、上記のカーブはエクスポネンシャル・カーブ(指數関数カーブ)となる。この特性は入射エネルギーと飽和レベルとの比例関係を表す変化率と、減衰時のカーブを決める単位時間の減衰率(「時定数」という表現のしかたもある)との2つのパラメータで一意的に表すことができる。従って、予め変化率、減衰率を実験的に求めておき、投影光学系PLに入射するエネルギーが分かれれば、上記の微分方程式を数値的に解くことにより焦点位置、倍率又は球面収差の変化を知ることができる。

【0037】先ず入射エネルギーの測定は図1のウエハステージWS上に設置された光電センサー17を用いて、レチクルRを通過してくる露光光ILのエネルギー量を測定することにより実行できる。これはレチクルRを交換してレチクルの透過率が変わったとき、あるいは可変ブラインド6を変更してブラインドを透過する光量が変化する毎に、ウエハステージWSが投影光学系PLの直下に移動して測定が行われる。測定値は球面収差演算器13に送られる。この球面収差演算器13は、演算により球面収差を求めると共に、同時に焦点位置及び倍率の変化をも演算により求め、それぞれの補正を行う。

【0038】また、投影光学系PLには光源1から直接来る露光光ILの他に、一担ウエハWで反射して投影光学系PLに入射する露光光もあり、同様にこの反射された露光光も球面収差を発生する。このため光電センサー50 16によりウエハWからの反射光を検出している。より

11

詳細な検出方法は特開昭62-183522号公報に開示されている。光電センサー16の検出信号は球面収差演算器13に供給され、球面収差演算器13は、光電センサー16の検出信号よりウエハWの反射率 $r$ を演算する。ウエハステージWS上の光電センサー17の出力をPとすれば、投影光学系PLに入射するエネルギーは $P \times (r + 1)$ と計算される。ただし、反射光の影響が通常露光光（上方から下方への光線）と必ずしも同じ効果でない場合、例えば $P \times (1 + \alpha \times r)$ といった係数 $\alpha$ を付ける場合も考えられる。以上により投影光学系PLに入射するエネルギーが求められ、前記の様にこれに予め求めておいた変化率を掛ければ変化の飽和値が求められる。

【0039】球面収差の時間的変化を計算するには、十分に短い一定時間間隔（例えば1～10msec）で球面収差演算器13はシャッター2が閉状態にあるか閉状態にあるかの信号を受け取り、刻々の変化を計算する。この計算法の一例を図7を参照して説明する。図7(b)のグラフはシャッター2の開及び閉に対応して投影光学系PLに入射するエネルギー量を示し、閉状態のときにエネルギー量が0で、閉状態のときにエネルギー量が一定の値を示している。そして、図7(a)のグラフは球面収差演算器13での計算過程を示し、前記の十分短い一定時間間隔を $\Delta t$ として $\Delta t$ 毎の球面収差量の変化を示している。シャッター2が閉状態のとき、時刻 $t_1$ 及び $t_2$ で収差量は0である。時刻 $t_3$ においてシャッター2が開状態となり、収差変動が一定量発生している。次に時刻 $t_4$ において、時刻 $t_5$ において発生した収差が白丸で示すように減衰するが、更に時刻 $t_6$ と時刻 $t_7$ との間に発生した収差量を加えると、合計の収差量は黒丸で示すように増加する。

【0040】以下同様に、 $\Delta t$ の間にエネルギーの供給がなければ減衰分だけ、供給があればその分を減衰分に加算していく方式で球面収差量の変化が計算できる。上記の方法は計算法の一例であり、微分方程式を数値計算で解く方法は種々提案されているため、この方法を用いても同様の結果が得られる。また、上記までの例では簡単化するため一次の微分方程式で表せるとしたが、収差の変化要因が複数の成分を持つとき、収差変化は複数の時間に関する一次の微分方程式の和で表せる場合もある。このときは各々の成分に対し上記と同様の計算を行って和を求めてやればよい。なお、上記の例はエネルギー量と、収差量（飽和値）が比例する場合の例を示したが、エネルギー量が一定値を超えると急激に収差が悪化する場合も考えられる。この場合も、このような特性を記憶しておけば対応可能である。

【0041】上記の様にして球面収差量が求められる。この球面収差量に応じて焦点位置検出系の基準パターン18の線幅と実際に露光を行うパターンの線幅との差に応じた焦点位置差 $d_F$ を、例えば図8(a)～(c)の

10

20

30

40

12

様にグラフ化して焦点位置補正器14の内部に記憶しておく。これにより、焦点位置検出器15で求めた焦点位置に対しどれだけオフセットを加算してやればよいかが分かる。図8(a)～(c)において、縦軸の線幅STは基準パターン18の線幅を示し、縦軸は実際に露光するパターンの線幅と基準パターン18の線幅との差を示す。図8(a)は球面収差がほぼ0の場合の特性を示し、図8(b)及び(c)が各々球面収差が異なる量だけ発生した場合の特性を示し、線幅の差により焦点位置が変わっている。

【0042】図1の焦点位置補正器14は焦点位置検出器15で検出された焦点位置に、上記のオフセット分を加算した位置にウエハWが位置決めされるように、受光光学系12の平行平板ガラスの傾斜角を設定する。次に、実際に露光される線幅を入力する手段の説明を行う。先ず、1つの方法としてレチクルRの識別用のバーコードBCに線幅の情報、例えば最小線幅と最大線幅とを書き込んでおき、図1のバーコードリーダ22でその線幅の情報を読み出し、その情報を信号S2として焦点位置補正器14へ伝える方法が考えられる。また、キーボード24から補正を行う度に焦点位置補正器14に入力する方法、あるいは露光用データファイルに登録しておき、露光時に呼び出してくる方法等が考えられる。

【0043】次に本実施例の焦点位置の検出方法を実際の露光動作のシーケンス中で使用する場合について簡単に説明する。先ず、直接方式の焦点位置検出系を動作させ、間接方式の位置検出系の補正（キャリブレーション）を行うタイミングであるが、上述の様にこの種の装置には大気圧変化、温度変化あるいは露光光吸収による焦点位置変化については変化を予測し補正を行う機構が備わっている。従って、あまり頻繁に焦点位置検出系によるキャリブレーションを実施する必要がなく、長期的な変化をチェックするために例えば1日1回、1週間に1回程度行うのが普通である。この種の装置は通常24時間体制で稼働しているためキャリブレーション時間が投影光学系が十分安定している状態であるとは限らず、本実施例のような補正が必要である。また、装置によってはキャリブレーションにともなう時間ロスにもかかわらず、焦点位置の安定性を確保するためキャリブレーションの頻度を多くすることも考えられ、例えばウエハ交換時毎に行うシーケンスも考えられる。この場合、本実施例によるキャリブレーションは特に有効である。

【0044】また、本実施例によれば、球面収差量が刻々と計算されるためレチクルRの最小線幅と最大線幅との差から、露光時に両者の焦点位置差が大きくなり露光に支障をきたすと判断される場合には、図1の焦点位置補正器14は警告を発し、間接方式の位置検出系による焦点位置の検出動作及び露光動作を停止することも考えられる。また、上記の実施例の他に、焦点位置検出系に複数の異なる線幅のパターンを用意し、実際に露光する

13

パターンの線幅に近い線幅のパターンを選んで使用したり、細いパターンと太いパターンとを用意して間を補間にして補正するような用法も考えられる。

【0045】次に、最近のこの種の装置では、照明光学系あるいはレチクルパターンに改良を加え解像力を上げる技術が提案されている。照明光学系の改良としては、例えばレチクルを照明する光束の入射角度（所謂照明系のコヒーレンシイを表す $\alpha$ 値）をパターンに応じて変化させたり、輪帯状に照明を行ったり又は或る特定の方向からのみ照明を行う方法（複数傾斜照明）が提案されている。またレチクルのパターンの改良としては位相シフトパターンを利用したものがある。これらの方法を使用すると投影光学系内部の光量分布が大きく異なるものになる。例えば輪帯状の照明あるいは複数傾斜照明の場合、投影光学系の瞳面付近ではレンズの中心部には強い光線が通らず分散するが、照明系の $\alpha$ 値を小さくした場合レンズの中心部を強い光線が通る。このことは、前記の球面収差量の発生の説明にもあるように、投影光学系の球面収差量の発生の説明にもあるように、投影光学系の球面収差量に差が内部の温度上昇に差が出て、発生する球面収差量に差が発生することを意味する。また、非点収差が発生する場合もある。この様な場合前記の変化率、減衰率のパラメータを照明条件等に合わせて予め記憶しておく必要がある。

【0046】上記の実施例は、光源1として水銀ランプ等のように時間的にほぼパワーが一定の光源を使用している例である。しかしながら、本発明は、例えばエキシマレーザ等のようにパルス発光で且つ1パルス毎のパワーが異なる様な光源を使用する場合にも同様に適用可能であり、この場合には前記の投影光学系を通過するエネルギーの計測部分を若干変更するだけでよい。例えば図1の例では光電センサー17の出力とシャッター2の開状態又は閉状態とで投影光学系PLを通して投影光学系PLを通過するエネルギーを測定したが、レチクルRの透過率をレチクルが有るときと無いときとの光電センサー17の出力差より求め、光電センサー38の出力信号S1より1パルス毎のパワーを測定し、（透過率）×（パワー）×（ブラインド面積）より投影光学系PLを通過するエネルギーを刻々と求めることができる。

【0047】次に、図1の実施例において、焦点位置検出動作を禁止する場合の動作につき説明する。この動作は球面収差演算器13により求められた収差量に基づいた単純な動作であるため簡単に説明する。本来、直接方式の焦点位置検出系の焦点位置測定は装置の長期的変化を測定するものであるから、前述の様に予め求めた球面収差変化のパラメータを用いるのは本来の主旨に反するという考え方もあり立つ。

【0048】この場合、常に投影光学系PLに露光光I-Lが照射されていない安定した状態で焦点位置測定を行ってやればよい。つまり、キャリブレーション動作を行おうとしたときに、投影光学系PLの温度が上昇してい

14

る場合は、投影光学系PLの温度が安定するまでキャリブレーション動作及び露光動作を中止し、安定状態になってからキャリブレーション動作を行えばよい。

【0049】図9を参照してこの方法の具体的な例を説明する。図9において、時刻 $t_{100}$ より露光動作を開始し、この時刻より球面収差量が変化している。この球面収差量は、前述の場合と同様に球面収差演算器13により求められるものである。その後露光動作を終了して、時刻 $t_{101}$ のとき焦点位置検出系により間接方式の位置検出系のキャリブレーションを行おうとしたとき、球面収差量の許容値A.L.より球面収差量が大きいため、露光動作及びキャリブレーション動作を共に停止する。そして、球面収差量が許容値A.L.以下となる時刻 $t_{102}$ まで待ってキャリブレーションを行う。以上のように本方法によれば時間的ロスが大であるが、常に球面収差の影響がない状態で焦点位置のキャリブレーションを正確に行うことができる。この方法の応用で、例えば一定の収差発生量のときに限って測定を行う方法も考えられる。つまり、レンズが冷却状態にあるときはダミーで照射し、あるいは過度に照射されているときは冷却を待つ方法であり、使用上最も可能性が高い収差量で行うことにはすれば、時間的ロスが最も少なくて済む。

【0050】この方法は装置の長期的变化に対応したものであるので、1日1回あるいは1週間に1回程度実施するだけでも良く、この程度の頻度でキャリブレーションを行うのであれば上記の時間的ロスも十分許容できるはずである。また、球面収差量等に応じて焦点位置の補正を行う方法との共用も可能であり、上記の様にウエハ交換毎のキャリブレーションはその補正を行う方法で行い、長期的な変化に対する定期的なチェックは球面収差量等が許容値以下になるのを待つ方法で行うこともできる。

【0051】また、図9においては、時刻 $t_{101}$ から時刻 $t_{102}$ まで何もせずに待つ場合を説明したが、投影光学系PLに露光光が入らない様な作業は可能である。例えば、露光光とは強度又は波長帯が異なるアライメント光を使用してのアライメント系のベースラインチェック等を行ってもよい。

【0052】次に、本発明の他の実施例につき図10及び図11を参照して説明する。本実施例もステップバーに本発明を適用したものであり、図10において図1に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。本実施例で使用する直接方式の焦点位置検出系は、例えば特開平1-273318号公報に開示してある装置を応用したものである。また、図1の球面収差演算器13は本実施例でも使用されるが、図10では省略している。

【0053】図10は本実施例の装置全体の構成を示し、この図10において、図1の例と同様にウエハステージWS上のウエハWの近傍に基準パターン31が設け

られている。光源1から射出される露光光I-Lがシャッター2によりファイバー3-3の一端3-3aに入射し、このファイバー3-3の他端3-3bから射出された露光光がウエハステージWS内部の照明光学系3-2を介して下方から基準パターン3-1を照明する。基準パターン3-1は、遮光部の中に例えば図11(a)のパターンFM<sub>1</sub>の様な長方形の光透過部を描いて形成されたものである。基準パターン3-1を通過した露光光は投影光学系PLを通過してレチクルRのパターン領域PAを通過する。このときレチクルRの基準パターン3-1からの露光光が通過する領域の付近にパターンFM<sub>1</sub>とほぼ同一(投影光学系PLの倍率を考慮してレチクルR上でほぼ同一)の非透過部よりなるパターンRM<sub>1</sub>が描かれている。

【0054】このパターンRM<sub>1</sub>はレチクルRの周辺に配置され、実際に露光されるパターンに影響がない場所に位置している。例えばレチクルRの位置決めパターンを流用することが考えられる。パターンFM<sub>1</sub>及びパターンRM<sub>1</sub>の像はさらにミラー9、メインコンデンサレンズ8等を介してハーフミラー4により光電センサー3-5、3-6に導かれる。ハーフミラー4から反射された方向の投影光学系PLの瞳面とほぼ共役な位置に分割ミラー3-6が配置され、この分割ミラー3-6はハーフミラー4からの光束をほぼ等分に分割して光電センサー3-5及び3-6に供給する。このため分割された2つの光束の主光線は、図10に示す如く投影光学系PLの光軸に対して傾きを持つ。

【0055】3-4は焦点位置検出器を示し、この焦点位置検出器3-4に光電センサー3-5及び3-6の検出信号並びに受光光学系1-2で検出された被検面の位置情報を供給する。また、ウエハステージWSの移動テーブルの上にミラー3-9が配置され、レーザー干渉計3-8からのレーザービームをそのミラー3-9で反射する。これによりレーザー干渉計3-8はウエハステージWSの投影光学系PLの光軸に垂直な面内での座標を計測し、この計測した座標情報を焦点位置検出器3-4に供給する。さて、焦点位置の検出を行うとき、焦点位置検出器3-4は、ウエハステージWSの位置をレーザー干渉計3-8の計測座標をモニターしながら移動させて、パターンFM<sub>1</sub>とパターンRM<sub>1</sub>との相対位置をほぼ図11(a)の状態に設定する。図10のレーザー干渉計3-8は内部の固定ミラーとウエハステージWS上のミラー3-9との間隔を測定するもので、図10の紙面に平行な方向(X方向)のステージ位置が測定される。

【0056】次に、焦点位置検出器3-4は、受光光学系1-2の出力信号を検出し且つZ軸駆動系2-5を動作させて、ウエハステージWSの基準パターン3-1を投影光学系PLの焦点位置と思われる所よりわずかにZ方向に移動させ(ここを座標Z<sub>1</sub>とする)、ウエハステージWSをX方向に走査する。このとき焦点位置検出器3-4は、

レーザー干渉計3-8によるウエハステージWSのX座標と光電センサー3-5及び3-6の検出信号とを同時に受け取る。この結果図11(b)の様な波形が得られる。図6(b)の信号S4及びS5は各々光電センサー3-5及び3-6の検出信号であり、各々座標X<sub>1</sub>及びX<sub>2</sub>で光量が最小となっている。そして、パターンFM<sub>1</sub>とパターンRM<sub>1</sub>とが重なったときに全体の光量が最小となる。つまり、前記の様に分割された2つの光束の主光線が投影光学系PLの主光線に対し斜めになっているため基準パターン3-1とレチクルRのパターン面とが共役でないと、各々の光束でパターンFM<sub>1</sub>とパターンRM<sub>1</sub>との相対位置がX方向にずれて見えることを図11(b)は表している。

【0057】次に、ウエハステージWSの基準パターン3-1を投影光学系PLの焦点位置と思われる所より前回と逆方向に移動し(ここをZ<sub>2</sub>とする)、同様のことを繰り返して、光量が最小になる2つの座標X<sub>1</sub>'及びX<sub>2</sub>'を得る。この結果、図11(c)の様なグラフが描け、この図11(c)より座標X<sub>1</sub>と座標X<sub>2</sub>との位置ずれがない点である焦点位置Z<sub>0</sub>を求めることができる。図11(c)の2直線の傾きを予め求めておけば座標Z<sub>1</sub>で1回測定するだけで焦点位置Z<sub>0</sub>を求めることが可能である。本方法も、実際に使用するレチクルでは投影光学系PLの光軸中心で焦点位置を検出できないという不都合があるが、測定に時間があまりかからないという利点がある。

【0058】また、他の例として画像処理によるコントラスト検出法等がある。例えばレチクルR上よりレチクル上のパターンを顕微鏡で観察し、CCDカメラ等で光電検出した像に対して明暗差等でコントラストを検出して、焦点合わせを行う。そのまま次に、ウエハステージ上のパターンを観察して焦点位置を合わせることにより、レチクルとウエハステージとの共役関係を求める方法も提案されている。

【0059】なお、本発明は上述実施例に限定されず本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

#### 【0060】

【発明の効果】本発明の第1の投影光学装置によれば、投影光学系による第1照明光の吸収によって球面収差又は非点収差が発生しても、それに応じて焦点位置の補正が行われるので、良好な焦点合わせを行うことができる。また、本発明は、従来のこの種の装置に具備されている照明光吸収による焦点位置補正機構の演算部をそのまま使用できるので装置の大きな改造を必要としない利点もある。

【0061】また、第2の投影光学装置によれば、投影光学系において許容値以上の球面収差又は非点収差が発生したときには焦点合わせが行われないので、誤った焦点合わせが行われることがない。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影光学装置の一実施例のステッパーの全体構成を示す構成図である。

【図2】図1の基準パターン18の一例を示す平面図である。

【図3】図1の実施例の焦点位置検出系の原理説明図である。

【図4】図3の場合の検出信号の状態を示す波形図である。

【図5】球面収差を説明するための模式図である。

【図6】露光光吸収にともなう球面収差による異なる線幅に対する焦点位置の変化の例を示す線図である。

【図7】図1の球面収差演算器13の演算法の一例の説明図であり、(a)は球面収差量の変化を示す線図、(b)は投影光学系に対するエネルギー量の変化を示す線図である。

【図8】異なる球面収差量のもとでの線幅の差と焦点位置の変化量との関係を示す線図である。

【図9】図1の実施例における異なるキャリブレーション動作の説明に供する線図である。

【図10】本発明の他の実施例のステッパーにおける主に焦点位置検出系の構成を示す構成図である。

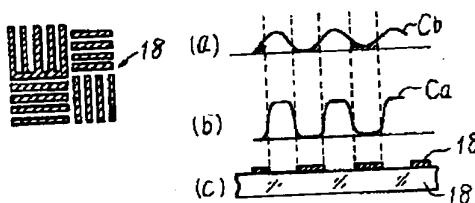
【図11】図10の実施例の焦点位置検出系の原理説明

図である。

## 【符号の説明】

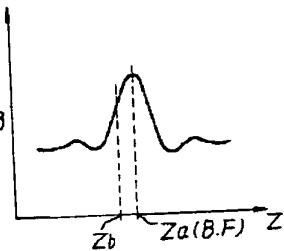
- 1 光源
- 2 シャッター
- 4 ハーフミラー
- 6 可変ブラインド
- 11 照射光学系
- 12 受光光学系
- 13 球面収差演算器
- 14 焦点位置補正器
- 15 焦点位置検出器
- 16, 17, 21, 38 光電センサー
- 18 基準パターン
- 19 照明光学系
- 20 2分岐ファイバー
- 22 パーコードリーダー
- 23 記憶装置
- 24 キーボード
- R レチクル
- W ウエハ
- PL 投影光学系
- WS ウエハステージ

【図2】

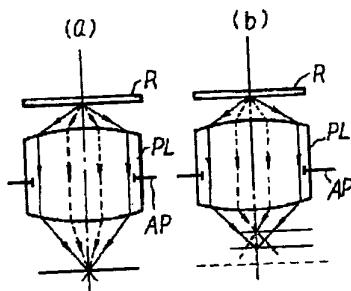


【図3】

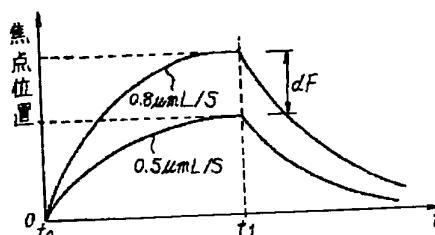
【図4】



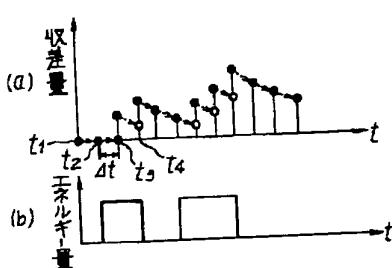
【図5】



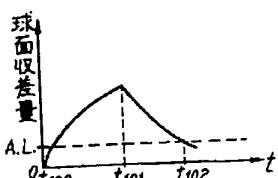
【図6】



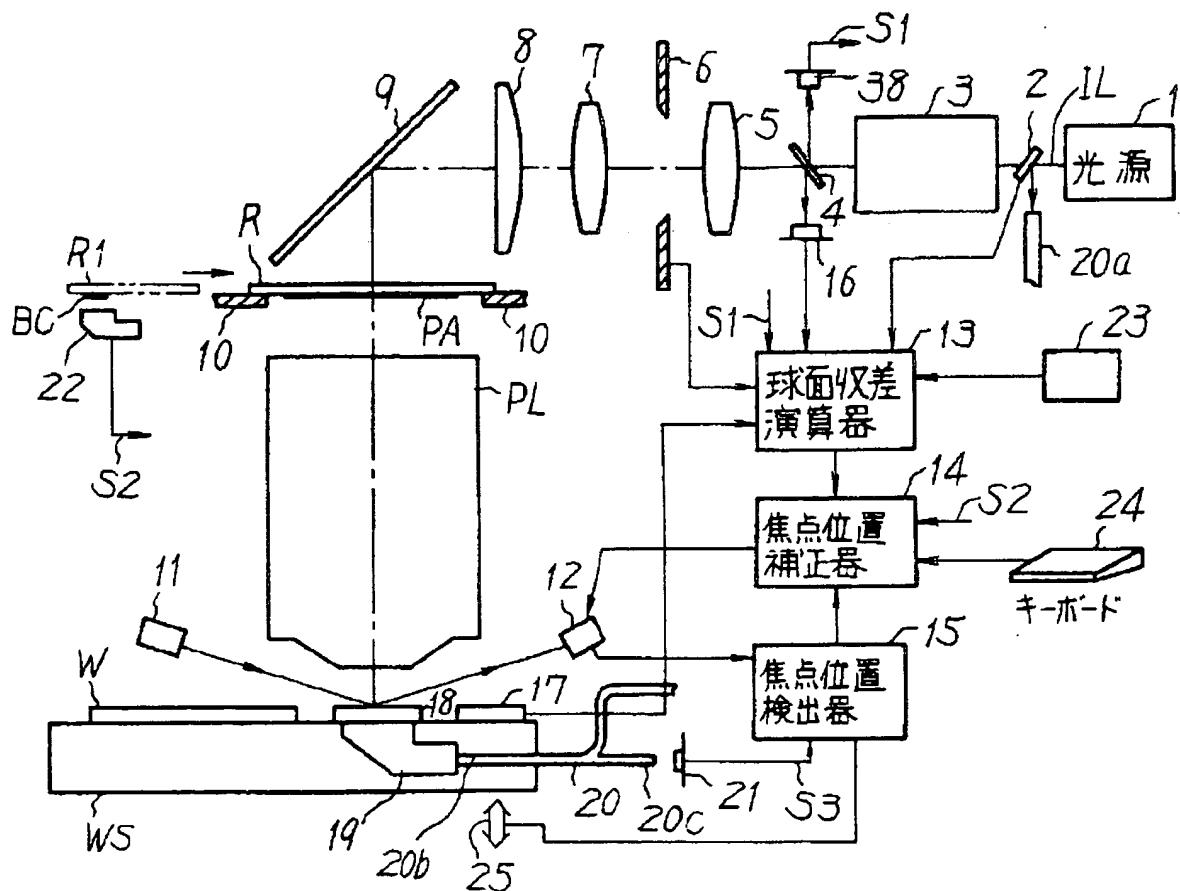
【図7】



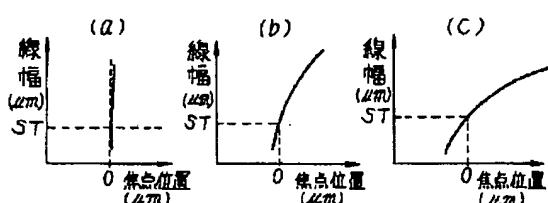
【図9】



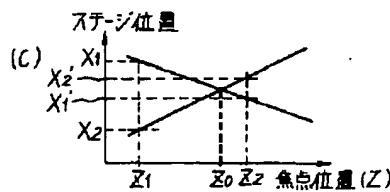
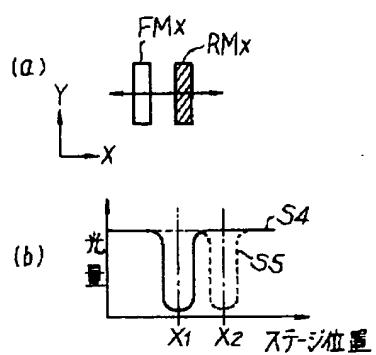
【図1】



【図8】

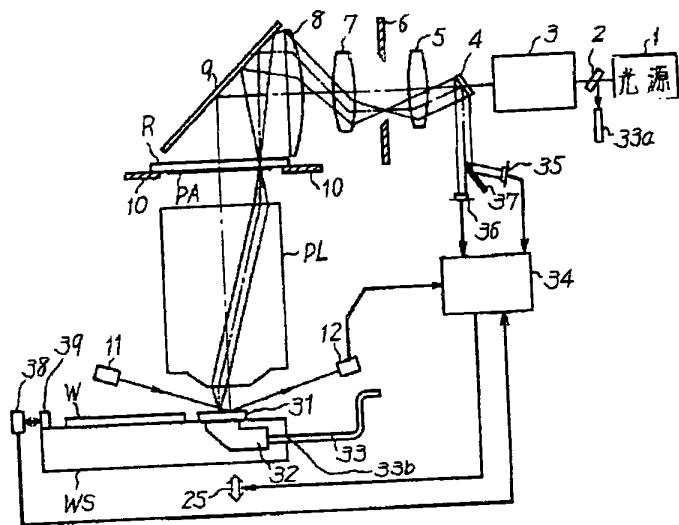


【図11】



(12)

【図10】



フロントページの続き

(51) Int.CI.<sup>5</sup>

G 05 D 3/12

識別記号 庁内整理番号  
 L 9179-3H  
 7352-4M  
 7352-4M

F I

H 01 L 21/30

技術表示箇所

3 0 1 M  
 3 1 1 L

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 05-315225

(43) Date of publication of application : 26.11.1993

---

(51) Int.CI. H01L 21/027

G02B 7/28

G03F 7/207

G05D 9/12

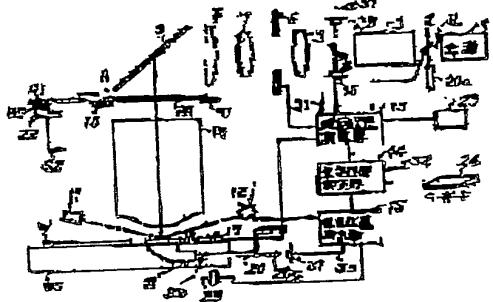
---

(21) Application number : 04-146867 (71) Applicant : NIKON CORP.

(22) Date of filing : 13.05.1992 (72) Inventor : TANIGUCHI TETSUO

---

(54) PROJECTION OPTICAL APPARATUS



(67)Abstract:

PURPOSE: To perform the good focusing operation of the title apparatus even when a spherical aberration is caused in a projection optical system.

CONSTITUTION: The title apparatus is provided with the following: focal-position detection systems 15, 19, 20, 21 which find the focal position of a projection optical system PL by using a reference pattern 18 on a wafer stage WS; a barcode reader 22 to which the line width of a pattern on a reticle R is input; a spherical-aberration operation device 11 which finds the change amount of the spherical aberration of the projection optical system PL;

and a focal-position correction device 14 which corrects the focal position, of the projection optical system PL, which has been found by means of the focal-position detection systems on the basis of the line width of the pattern on the reticle R and of that of the reference pattern and on the basis of the change amount of the spherical aberration.

---

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.05.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3209284

[Date of registration] 13.07.2001

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] In the projection optics equipment which has the illumination-light study system which illuminates the pattern on a mask by the 1st illumination light, and the projection optics which projects the image under said 1st illumination light of the pattern of said mask on the substrate on a stage. The reference pattern prepared on said mask or said stage, and a focal location detection means to ask for the focal location of said projection optics using this reference pattern. A line breadth input means to input the line breadth of the pattern on said mask, and an amount operation means of aberration to calculate the variation of the spherical aberration of said projection optics, or astigmatism. The information on the line breadth of the pattern on said mask from said line breadth input means. Projection optics equipment characterized by having the focal location amendment means which amends the focal location of said projection optics searched for by said focal location detection means based on the information on the variation of the spherical aberration from the information on the line breadth of said reference pattern, and said amount operation means of aberration, or astigmatism.

[Claim 2] In the projection optics equipment which has the illumination-light study system which illuminates the pattern on a mask by the 1st illumination light, and the projection optics which projects the image under said 1st illumination light of the pattern of said mask on the substrate on a stage. The reference pattern prepared on said mask or said stage, and a focal location detection means to compute the focal location of said projection optics using this reference pattern. Projection optics equipment characterized by having an amount operation means of aberration to calculate the variation of the spherical aberration of said projection optics, or astigmatism, and the control means which interrupts calculation actuation of the focal location of said focal location detection means based on the variation of the spherical aberration searched for by this amount operation means of aberration, or astigmatism.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention is applied to the projection aligner equipped with the focal location detection device in which it is used for micro processing, such as a semiconductor device, a liquid crystal display component, or the thin film magnetic head, and relates to suitable projection optics equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] In case a semiconductor device, a liquid crystal display component, or the thin film magnetic head is manufactured using a photolithography technique, the projection aligner which imprints the pattern of a reticle on a sensitization substrate through projection optics is used. According to the pattern imprinted being made detailed, the numerical aperture of the projection optics in a projection aligner becomes large, and the depth of focus is shallower. Then, making it nearby highly precise about the focusing device (automatic focus device) in which the exposure side of a sensitization substrate is doubled with the image formation side (focal location) of projection optics within the limits of the depth of focus is called for.

[0003] As a focusing device of this conventional kind of equipment, the image of a slit pattern is projected on the center section of the shot field of a sensitization substrate, for example according to exposure optical system, and the device which carries out re-image formation to the light-receiving side of a photoelectrical sensor where the center-of-gravity location of distribution of the quantity of light can detect the image of that slit pattern according to light-receiving optical system is known. According to this device, if a sensitization substrate moves in the direction of an optical axis of projection optics, since the location of the image with which re-image formation of that slit pattern was carried out will change, the distance of that sensitization substrate and projection optics is measurable. And the automatic focus was operating by controlling so that the distance of projection optics and a sensitization substrate always becomes fixed.

[0004] However, the focal location of projection optics is always changing with change of atmospheric pressure, or the temperature rises of the projection optics by the exposure absorption of light, and is not fixed. For this reason, the method of adding the offset which corresponds every moment to the distance measured by the exposure optical system and light-receiving optical system of a focusing device according to atmospheric pressure change, the amount of exposure absorption of light, etc., and following focal

location change is proposed and put in practical use as conventionally indicated by JP,60-78454,A etc. However, the direct focal location is not detected, and the cause of change of a focal location is measured, it is amending indirectly, and the focal location change (for example, an impact, an operation mistake, etc.) by the unexpected cause or long-term change of equipment cannot be followed (for example, disconnection of stress, secular change of a chemical, etc.), but this approach is also hard to be called perfect thing.

[0005] Moreover, although there is an approach change the distance from the projection optics of a sensitization substrate delicately, for example, expose a pattern in test, develop it as an approach of measuring the focal location of projection optics directly, observe under a microscope, and the contrast of an image asks for the greatest location, time amount and an effort are applied and it cannot carry out frequently. For this reason, in this kind of equipment, photoelectrical detection of the projection pattern image is carried out directly, without passing through the process of exposure and a phenomenon, change of the focal location of projection optics is detected, and the approach of amending distance of the abovementioned projection optics and the above-mentioned sensitization substrate which were measured indirectly is proposed variously.

[0006] The pattern of this reticle illuminates from the upper part of the method of detecting the location where the image of the reference pattern which adjoined the sensitization substrate as an approach of detecting change of a focal location directly, for example, and was prepared receives by the photoelectrical sensor through projection optics, and that light income becomes max, or a reticle, the reflected light from the sensitization substrate of that illumination light receives through the pattern of a reticle, and there is a method of detecting the location where this light income becomes max. Moreover, the reference pattern conversely prepared in the sensitization substrate side is illuminated, the reflected light from the reticle of the illumination light is received by the photoelectrical sensor through a reference pattern, and the method of detecting the location where the light income becomes max, or the method of dividing the flux of light from a predetermined pattern into two, performing location measurement of a pattern by each flux of light, and detecting a focal location from the amount of gaps is learned. Some are explained in full detail behind among these.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In the Prior art like the above, the pattern for focal location detection is not the thing of the decided fixed line breadth, and is not necessarily in agreement with the line breadth of the pattern which should always

actually be projected. Moreover, in order that some may use the mark for alignment of a reticle, or the mark for alignment of a sensitization substrate among the above-mentioned techniques, compared with the pattern which should usually actually be projected, line breadth is large.

[0008] By the way, although, as for projection optics, temperature rises by the exposure absorption of light, temperature does not necessarily rise to uniform and homogeneity by the whole projection optics. If it thinks especially in the cross section of projection optics, it consists of metals to which a perimeter holds the glass with the glass with which a core constitutes a lens, and exposure light will be absorbed with glass, the temperature of glass will rise, and the heat will escape and go to a surrounding metal. Thereby, it is expected that temperature becomes high and the rise of the periphery of glass, i.e., the temperature of the part near a metal, is as small as the core of glass, especially "a reticle" "a pattern" "receiving" "the Fourier transform" "a field (henceforth "the pupil surface of projection optics")" "near" "\*\*\*\*" "usually" "a lens" "a core" "zero-order" "the diffracted light" "a passage" "a periphery" "zero-order" "light" "power" "falling" "one" "order" "more than" "the diffracted light" "passing" "a sake" "the temperature rise of a core" "being remarkable". The focal location of the beam of light by which the beam of light which a core expands in a convex lens according to this phenomenon, radius of curvature becomes small, and a refractive index becomes large in connection with a temperature rise generally moreover, and passes along the core of a lens passes a focus along an epilogue and a periphery in a near place according to projection optics, and a gap arises. Therefore, it is possible that spherical aberration occurs.

[0009] Since the include angles at which the diffracted light is injected from a reticle differ and the passage location of the beam of light near the pupil surface of projection optics changes with line breadth, the pattern with which this differs in the line breadth on a reticle means that the focal location of projection optics changes with line breadth. That is, when the line breadth of the pattern for focal location detection differed from the line breadth of the pattern which should be projected, there was unarranging of a gap arising between the focal location detected according to the focusing device and the focal location of the pattern which should be projected essentially, and highly precise focal alignment becoming impossible to it according to the spherical aberration generated by the exposure light absorption of the lens which constitutes projection optics.

[0010] Moreover, illumination in which the image of the secondary light source formed on the pupil surface of projection optics focuses not only on a thing completely

symmetrical with a shaft but on two or more fields distant from the optical axis like the so-called two or more oblique illuminations, for example to an optical axis recently, and the image of the secondary light source is formed is also proposed. In such a case, the lens which constitutes projection optics by the exposure of exposure light deforms asymmetrically about an optical axis, astigmatism etc. occurs by that cause, and, thereby, a highly precise focus may not be able to be performed. This invention aims at supplying the projection optics equipment which can perform good focusing, even if spherical aberration or astigmatism occurs in projection optics in view of this point.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The 1st projection optics equipment by this invention For example, the illumination-light study system which illuminates the pattern on Mask R by the 1st illumination light as shown in drawing 1 (1, 3, 5-9). In the projection optics equipment which has the projection optics PL which projects the image under the 1st illumination light of the pattern of the mask R on the substrate W on Stage WS The reference pattern prepared on the mask R or its stage WS. A focal location detection means to ask for the focal location of that projection optics PL using this reference pattern (15, 19, 20, 21). A line breadth input means to input the line breadth of the pattern on the mask R (22). An amount operation means of aberration to calculate the variation of the spherical aberration of the projection optics PL, or astigmatism (13). The information on the line breadth of the pattern from the line breadth input means (22), It has the focal location amendment means (14) which amends the focal location of the projection optics searched for by the focal location detection means based on the information on the variation of the spherical aberration from the information on the line breadth of a reference pattern, and its amount operation means of aberration (13), or astigmatism.

[0012] The 2nd projection optics equipment by this invention Moreover, for example, the illumination-light study system which illuminates the pattern on Mask R by the 1st illumination light as shown in drawing 1 (1, 3, 5-9). In the projection optics equipment which has the projection optics PL which projects the image under the 1st illumination light of the pattern of the mask R on the substrate W on Stage WS The reference pattern prepared on the mask R or its stage WS. A focal location detection means to compute the focal location of that projection optics PL using this reference pattern (15, 19, 20, 21). An amount operation means of aberration to calculate the variation of the spherical aberration of the projection optics PL, or astigmatism (13). It has the control means (14) which interrupts calculation actuation of the focal location of that focal location detection means based on the variation of the spherical aberration searched for

by this amount operation means of aberration (13), or astigmatism.

[0013]

[Functional] According to the 1st projection optics equipment of this invention, the difference of the line breadth of the reference pattern used with a focal location detection means and the line breadth of the pattern on the mask actually exposed can be known with a line breadth input means (22), and the amount of the present spherical aberration or astigmatism can be known with the amount operation means of aberration (13). Moreover, if the focal location amendment means (14) memorizes in quest of relation with the focal location by the line breadth difference, spherical aberration, or astigmatism beforehand, the difference of the present focal location obtained with the focal location detection means and the focal location of the pattern actually exposed can be searched for from the above-mentioned relation. Therefore, it can ask for the focal location of the pattern actually exposed, and thereby, even if spherical aberration or astigmatism occurs in projection optics, good focusing can be performed.

[0014] Moreover, according to the 2nd projection optics equipment of this invention, when projection optics is not influenced by absorption of the 1st illumination light (i.e., only when it is in the condition that change of spherical aberration or astigmatism has not broken out), detection of the focal location of projection optics is performed by the focal location detection means. On the contrary, even if it amends the value calculated with the focal location detection means by count, when it is thought that the error of a focal location arises, or when not performing amendment by count by the case where there is no line breadth input means etc., detection of a focal location is not performed and focusing is not performed. Therefore, focusing is performed only in the condition that good focusing can be performed.

[0015]

[Example] Hereafter, with reference to drawing 1 ~ drawing 9, it explains per example of the projection optics equipment by this invention. This example applies this invention to the contraction projection mold aligner (stepper) of the step-and-repeat method for semiconductor device manufacture. Drawing 1 shows the configuration of the outline of the whole equipment of this example, in this drawing 1, 1 is the light source which consists of an extra-high pressure mercury lamp, and this light source 1 generates the exposure light IL of a wavelength region (bright lines, such as i line) which exposes a resist layer. As an exposure light IL, higher harmonics, such as a laser beam or metal vapor laser, such as KrF excimer laser or ArF excimer laser, and an YAG laser, etc. may be used other than the bright line of an extra-high pressure mercury lamp.

[0016] The exposure light IL injected from the light source 1 passes the shutter 2 opened and closed to compensate for exposure actuation. When a shutter 2 is in an open condition, incidence of the exposure light IL is carried out to the optical integrator 3 which consists of fly eye lenses etc., and it is orthopedically operated so that Reticle (mask) R may be illuminated on predetermined lighting conditions. The exposure light IL illuminates pattern space PA of the reticle R supported by the reticle electrode holder 10 with an almost uniform illuminance, after passing a half mirror 4, a relay lens 5, the adjustable blind 6, a relay lens 7, and the Maine condenser lens 8 further, resulting in a mirror 9 and being reflected caudad almost perpendicularly here.

[0017] The light reflected by the half mirror 4 among the exposure light IL injected from the optical integrator 3 is received by the photoelectrical sensor 38, and the detecting signal S1 (signal which shows the power of the exposure light IL) outputted from the photoelectrical sensor 38 is supplied to the below-mentioned spherical-aberration computing element 13. Furthermore, with a half mirror 4, the reflected light from the wafer W by the exposure light IL is led to the photoelectrical sensor 16 as a reflection factor sensor, and the output signal of the photoelectrical sensor 16 is supplied to the spherical-aberration computing element 13. The role of the photoelectrical sensor 16 is mentioned later.

[0018] The field of the adjustable blind 6 has Reticle R and a relation [\*\*\*\*], and the lighting visual field of Reticle R can be set as arbitration by making two or more movable blades which constitute the adjustable blind 6 by the motor (un-illustrating) open and close, and changing the magnitude of opening, and a configuration. The information on closing motion of a shutter 2 in the magnitude of opening of this adjustable blind 6 and the information list of a configuration is supplied to the spherical-aberration computing element 13. Moreover, the bar code BC which shows the class of reticle etc. is recorded on the exterior of pattern space PA of Reticle R, and when Reticle R is in a location R1, the bar code BC can be read with a bar code reader 22. A bar code reader 22 is supplied to the below-mentioned focal position transducer 14 by making the read information into a signal S2.

[0019] Incidence of the exposure light IL which passed pattern space PA of Reticle R is carried out to projection optics PL, and it piles up and carries out image formation of the projection optics PL to one shot field on the wafer W held so that a resist layer might be formed in a front face in the projection image of the circuit pattern of Reticle R and the front face might be mostly in agreement with the best image formation side. However, in drawing 1, image formation has not been carried out on Wafer W on account of explanation.

[0020] Wafer W is held on the wafer stage WS -- having -- the wafer stage WS -- the Z-axis drive system 25 -- the direction of an optical axis of projection optics PL (Z direction) -- jogging -- while it is movable, it is constituted by the step-and-repeat method movable two-dimensional in the field perpendicular to the optical axis of projection optics PL. After imprint exposure of the pattern of the reticle R to one shot field on Wafer W is completed, stepping is carried out by the wafer stage WS to the next shot field of Wafer W. In addition, it is indicated by JP,62-274201,A about the detailed configuration of the wafer stage WS.

[0021] Next, it explains per focal location detection device of the example of drawing 1. In drawing 1, the exposure optical system 11 supplies the image formation flux of light for forming images, such as a pinhole or a slit, aslant from the upper part to the optical axis of projection optics PL at a specimen plane, and the light-receiving optical system 12 receives the reflected light bundle in the specimen plane of the image formation flux of light, and it carries out re-image formation on the light-receiving side of a photoelectrical sensor. The location detection system of an oblique incidence method is constituted from these exposure optical system 11 and the light-receiving optical system 12 by the indirect method. This location detection system measures the distance (focus condition) of the best image formation side of projection optics PL, and a specimen plane indirectly. The configuration of this location detection system etc. is indicated by JP,60-168112,A.

[0022] In addition, in this example, when the best image formation side and specimen plane of projection optics PL have agreed, the include angle of the parallel monotonous glass (plane parallel) which is not illustrated [which was beforehand prepared in the interior of the light-receiving optical system 12] is adjusted so that a measurement result may become zero (0), namely, so that it may become zero-point criteria. Include-angle adjustment of this parallel monotonous glass is performed by directions of the focal location amendment machine 14. Include-angle adjustment of parallel monotonous glass is always automatically performed corresponding to the variation of the focal location calculated every moment according to atmospheric pressure change, the exposure absorption of light, etc. so that it may mention later. Moreover, when the front face of specimen planes, such as Wafer W, comes to the focal location measured by the focal location detection system of a direct method so that it may mention later, the calibration of the include angle of the parallel monotonous glass of the light-receiving optical system 12 is performed so that the measurement result of the location detection system of an indirect method may serve as zero (0).

[0023] Next, the focal location detection system of the direct method of this example is

explained. Although various methods are devised as having already stated from before, drawing 1 shows one of the methods with the highest practicality in it. Other methods are explained simply later. First, in drawing 1, the reference pattern 18 for focal location detection is formed near the wafer W on the wafer stage WS. On a glass plate, chromium is vapor-deposited and a reference pattern 18 draws the continuation pattern of Rhine - and - tooth space as shown in drawing 2. When performing a calibration, a reference pattern 18 is located directly under projection optics PL like drawing 1. At this time, the location detection systems 11 and 12 can act as the monitor of the location of the Z direction of a reference pattern 18.

[0024] In this case, the exposure light IL which the exposure light IL injected from the light source 1 carried out [the light] incidence to incidence edge 20a of the dichotomy fiber 20 by the shutter 2, and carried out incidence in this way is led to close injection edge 20b of the dichotomy fiber 20. The exposure light IL injected from this close injection edge 20b illuminates a reference pattern 18 from a lower part through the illumination-light study system 19 inside the wafer stage WS. The exposure light which injected the reference pattern 18 usually reaches the pattern side of Reticle R through projection optics PL contrary to the time of exposure, and when the current arrangement sides of a reference pattern 18 are Reticle R and conjugation, image formation of the image of a reference pattern is carried out to the pattern side of Reticle R. As for the exposure light which reached the pattern side of Reticle R, re-image formation of the image of a reference pattern 18 is again carried out on return and a reference pattern 18 through projection optics PL to a reference pattern 18.

[0025] Then, the exposure light which passed the reference pattern 18 and returned reaches the photoelectrical sensor 21 through close injection edge 20b of the illumination-light study system 19 and the dichotomy fiber 20, and injection edge 20c. That is, the light from which the image of a reference pattern 18 was projected on the inferior surface of tongue of Reticle R, passed the reference pattern 18 again among the reflected light, and returned to the interior of the wafer stage WS is received by the photoelectrical sensor 21. The detecting signal S3 from this photoelectrical sensor 21 is supplied to the focal position transducer 15. The information on the distance of the focal plane of projection optics PL and reference pattern 18 which were indirectly detected by the light-receiving optical system 12 is also supplied to this focal position transducer 15. In order to detect the focal location of projection optics PL using a reference pattern 18, the wafer stage WS is scanned to a Z direction, and the detecting signal S3 outputted from the photoelectrical sensor 21 detects the location used as max.

[0026] A wave-like example of the detecting signal S3 at this time is shown in drawing 4.

R> 4. It is a Z coordinate in case a reference pattern 18 has Coordinate Za (=B.F.) in a focal location, and the value of a detecting signal S3 changes to convex by centering on Coordinate Za mostly. In this case, the focal position transducer 15 plots the detecting signal S3 outputted from the photoelectrical sensor 21 considering the coordinate of the Z direction of the reference pattern 18 detected by the light-receiving optical system 12 of a location detection system as an axis of abscissa of drawing 4 as an axis of ordinate of drawing 4 at the same time it supplies the command which scans the wafer stage WS to a Z direction to the Z-axis drive system 25. And the focal position transducer 15 detects the coordinate Za (=B.F.) of a focal location from the point that a detecting signal S3 becomes max.

[0027] The principle of this approach is explained with reference to drawing 3. Drawing 3 (c) shows an example of a reference pattern 18, and 18a is the protection-from-light section by the chromium vacuum evaporation film etc. When a reference pattern 18 and the pattern side of Reticle R are located as mentioned above in a location [\*\*\*\*], the exposure light which passed the reference pattern 18 of drawing 3 (c) is reflected by Reticle R, and image formation of the image of a reference pattern 18 is again carried out on a reference pattern 18. As the intensity distribution of the image of the reference pattern 18 in this case are shown in the distribution calcium of drawing 3 (b), almost in accordance with distribution of the light and darkness of reference pattern 18 the very thing, a great portion of light returns to the wafer stage WS mostly through the transparency section of a reference pattern 18. On the other hand, when the reference pattern 18 is shifted from the pattern side of Reticle R, and the field [\*\*\*\*] a little, as the image of the reference pattern 18 in which re-image formation was carried out by the reflected light from Reticle R is shown in the distribution Cb of drawing 3 (a), contrast falls. In this case, the slash section under distribution Cb of drawing 3 (a) cannot lap with protection-from-light section (nontransparent section) 18a of the reference pattern 18 of drawing 3 (c), and a reference pattern 18 cannot be passed, but the quantity of light which reaches the photoelectrical sensor 21 decreases. As for drawing 3 (a) and the condition of (b), the Z coordinate of drawing 4 is equivalent to the property of Za and Zb, respectively.

[0028] When a reference pattern 18 comes to the focal location of projection optics PL as mentioned above, the detecting signal S3 outputted from the photoelectrical sensor 21 serves as max. By the interference phenomenon of the flux of light, as shown in drawing 4, a detecting signal S3 serves as a wave which falls in a concave on both sides of a peak. Moreover, the reference pattern 18 serves as combination of the pattern of the many directions like drawing 2 in consideration of astigmatism.

[0029] The method of detecting the maximum of the quantity of light which prepares a pattern and is reflected in Reticile R side from a wafer side is also learned as indicated by JP,57-212406,A as an example using the same principle as the above. Putting a mark's into the core of the reticle actually used having un-arranged [ that the focal location based on / of projection optics PL / opticals axis is undetectable ] at the time of actual use, since it is difficult, although the mark a special reticle or for focal detection is required for this approach.

[0030] Moreover, in drawing 1, on the wafer stage WS near the reference pattern 18, the photoelectrical sensor 17 as an exposure sensor is arranged, and the detecting signal of this photoelectrical sensor 17 is supplied to the spherical-aberration computing element 19. 23 can show the storage which memorized information, such as various properties, and the spherical-aberration computing element 18 can read the contents of storage of the storage 23 at any time. Moreover, 24 is a keyboard.

[0031] Next, spherical aberration by the exposure light absorption of projection optics PL is explained. Although projection optics PL is made from the ingredient with very high permeability to the exposure light IL, though very small as mentioned above, exposure light is absorbed and the temperature within projection optics PL rises. For this reason, although the image formation property of projection optics PL changes, especially spherical aberration is generated by connecting a focus with a near place according to projection optics PL as compared with the flux of light by which the flux of light passing through the core of projection optics PL passes along a periphery, when the temperature of the radial core of projection optics PL rises from a perimeter, as explanation of the conventional technique already described. Drawing 5 showed this typically. The condition that there was no exposure light absorption was shown, and, as for drawing 5 (a), the flux of light (continuous line) which passes along the periphery of projection optics PL, and the flux of light (dotted line) passing through a core have connected the focus with about one point. The flux of light which passes along a periphery and a core when drawing 5 (b) shows the condition of having absorbed exposure light and the temperature of projection optics PL rises is changing so that the flux of light by which it passes along the core where a temperature rise is more large although a focal location moves up (direction near projection optics PL) may connect a focus with the upper part more.

[0032] The flux of light passing through the flux of light which passes along the above-mentioned periphery, and a core can be put in another way as the flux of light corresponding to the pattern of respectively thin line breadth, and the pattern of thick line breadth. That is, although the diffracted light of the thin pattern near the

resolution limit of projection optics PL passes the breadth projection optics PL to the limit of aperture-diaphragm AP of projection optics, an angle of diffraction is small and the diffracted light of a thick pattern passes only through the core of projection optics. By this, the focal location difference by line breadth occurs.

[0033] Drawing 6 shows the above phenomenon by time amount change, and is the time of day t0 of drawing 6. Numerical aperture NA of line and projection optics PL is made about into 0.5, for example for the exposure light IL noting that exposure actuation is started. In this case, each focal location change is shown in drawing 6 supposing Rhine-and-tooth-space pattern (0.5micromL/S) whose pitch near the resolution limit is 0.5 micrometers, and 0.8micromL/S pattern comparatively thicker than it. In actual exposure actuation, it does not become a smooth curve like drawing 6 by exchange of a wafer, positioning by step-and-repeat one of a wafer, etc. However, change of 0.8micromL/S pattern becomes large with time amount, and a rough change property is soon saturated with fixed level, as shown in drawing 6. In addition, drawing 6 is time of day t1. It is the example which set and has ended exposure actuation, and is this time of day t1. Setting, a comparatively big value is served as, Difference dF, i.e., the focal location difference, of the focal location of 0.8micromL/S pattern, and the focal location of 0.5micromL/S pattern.

[0034] In such a case, when the pattern of the reticle R by which the reference pattern 18 currently used by the focal location detection system of the aforementioned direct method is actually exposed by the pattern near the resolution limit is thick line breadth, the direction of thick line breadth can take the large depth of focus. Therefore, when the focal location difference dF can fully absorb with the depth of focus which became large with thick line breadth, it does not produce especially un-arranging. However, when the depth of focus difference dF cannot be absorbed with the depth of focus to which the depth of focus difference dF became large with thick line breadth greatly, or when the line breadth of the reference pattern 18 used by the focal location detection system is thicker than the line breadth of the pattern actually exposed and focal alignment performs using a focal location detection system, there is un-arranging [ which a gap produces to the focal location of the actually exposed pattern ].

[0035] Next, the approach of performing focal alignment is explained in the equipment of drawing 1, amending the amount of spherical aberration. The image formation property of changing with the exposure light absorption of projection optics PL has not only the above spherical aberration but focal location change, scale-factor change, etc., and the approach of amending by predicting such variation is used for it. Since this has the function which calculates variation, such as a focal location and a scale factor,

serially from change of exposure luminous energy which carries out incidence in projection optics PL, it can calculate change of the amount of spherical aberration serially by the same approach. Since the location of the projection optics PL leading to generating differs from a mechanism and the same change property does not become, the amount of spherical aberration, a focal location, and a scale factor need to calculate about each.

[0036] Hereafter, the calculus of the variation of the amount of aberration is mainly concretely explained with reference to drawing 1 and drawing 7. As mentioned above, when the amount of aberration generated by exposure light absorption is saturated with fixed level and exposure is stopped after it increases gradually according to heat being accumulated in the interior, as the curve of drawing 6 showed, it shows change of decreasing rapidly. Being able to express this phenomenon with the primary differential equation about time amount, the above-mentioned curve turns into an exponential curve (exponential-function curve). This property can be uniquely expressed with two parameters of the rate of change showing the proportionality of incidence energy and saturation level, and the attenuation factor (there is also the method of the expression a "time constant") of the unit time amount which determines the curve at the time of attenuation. Therefore, rate of change and an attenuation factor are searched for experimentally beforehand, and if the energy which carries out incidence to projection optics PL is known, change of a focal location, a scale factor, or spherical aberration can be known by solving the above-mentioned differential equation numerically.

[0037] Measurement of incidence energy can be first performed by measuring the amount of energy of the exposure light IL which passes Reticle R using the photoelectrical sensor 17 installed on the wafer stage WS of drawing 1. Whenever the quantity of light which changes the adjustable blind 6 and penetrates a blind changes when this exchanges Reticle R and the transmission of a reticle changes or, the wafer stage WS moves directly under projection optics PL, and measurement is performed. Measured value is sent to the spherical-aberration computing element 13. This spherical-aberration computing element 13 asks coincidence also for change of a focal location and a scale factor by the operation, and performs each amendment while it searches for spherical aberration by the operation.

[0038] Moreover, there is also exposure light which reflects in projection optics PL with the 1 \*\* wafer W other than the exposure light IL which comes directly from the light source 1, and carries out incidence to projection optics PL, and this reflected exposure light generates spherical aberration similarly. For this reason, the photoelectrical sensor 16 has detected the reflected light from Wafer W. The more detailed detection

approach is indicated by JP,62-183522,A. The detecting signal of the photoelectrical sensor 16 is supplied to the spherical-aberration computing element 13, and the spherical-aberration computing element 13 calculates the reflection factor  $r$  of Wafer W from the detecting signal of the photoelectrical sensor 16. The energy which carries out incidence of the output of the photoelectrical sensor 17 on the wafer stage WS to P, then projection optics PL is calculated with  $P_x(r+1)$ . However, when the effect of the reflected light is not the not necessarily same usually effectiveness as exposure light (beam of light from the upper part to a lower part) (for example, also when attaching the multiplier alpha  $P_x(1 + \alpha x r)$ ), it thinks. If the rate of change for which asked for the energy which carries out incidence to projection optics PL by the above, and this was asked beforehand as mentioned above is applied, the saturation value of change will be calculated.

[0039] In order to calculate the temporal response of spherical aberration, the spherical-aberration computing element 13 calculates reception and change of \*\*\*\* for the signal of whether a shutter 2 is in an open condition, or to be in a closed state by the width of face between fixed time amount short enough (for example, 1 - 10msec). An example of this calculus is explained with reference to drawing 7. The graph of drawing 7 (b) shows the amount of energy which carries out incidence to projection optics PL corresponding to close [ of a shutter 2 / open and close ], and at the time of a closed state, the amount of energy is 0 and it shows the value with the fixed amount of energy in the open condition. And the graph of drawing 7 (a) shows the computation in the spherical-aberration computing element 13, sets the aforementioned sufficiently short fixed time interval to deltat, and shows change of the amount of spherical aberration of every deltat. When a shutter 2 is a closed state, it is time of day t1. And t2 The amount of aberration is 0. Time of day t3 It sets, a shutter 2 will be in an open condition, and aberration fluctuation is carrying out constant-rate generating. Next, time of day t4 It sets and is time of day t3. Although it decreases as it sets and the generated aberration shows with a circle [ white ], it is time of day t3 further. Time of day t4 If the amount of aberration generated in between is applied, the total amount of aberration will increase, as a black dot shows.

[0040] If there is no supply of energy between deltat and there is supply a decreased part like the following, change of the amount of spherical aberration is calculable with the method which adds the part to a decreased part. The above-mentioned approach is an example of calculus, and since various methods of solving a differential equation by numerical calculation are proposed, the same result is obtained even if it uses this approach. Moreover, in order to simplify, although [ the example to the above ] it can

express with a primary differential equation, aberration change may be able to be expressed with the sum of the primary differential equation about two or more time amount when the change factor of aberration has two or more components. What is necessary is to perform the same count as the above to each component at this time, and just to ask for the sum. In addition, although the above-mentioned example showed the example in case the amount of energy is proportional to the amount of aberration (saturation value), if the amount of energy exceeds constant value, also when aberration will get worse rapidly, it is considered. It can respond, if such a property is memorized also in this case.

[0041] The amount of spherical aberration is calculated as mentioned above. According to this amount of spherical aberration, the focal location difference  $dF$  according to the difference of the line breadth of the reference pattern 18 of a focal location detection system and the line breadth of the actually exposed pattern is graphized like for example, drawing 8 (a) - (c), and is memorized inside the focal location amendment machine 14. It is turned out which should add offset by this to the focal location for which it asked with the focal position transducer 15. Drawing 8 (a) In - (c), the line breadth ST of an axis of ordinate shows the line breadth of a reference pattern 18, and an axis of ordinate shows the difference of the line breadth of a pattern and the line breadth of a reference pattern 18 which are actually exposed. Drawing 8 (a) showed the property in case spherical aberration is about 0, showed the property when drawing 8 (b) and (c) generate only the amount from which spherical aberration differs respectively, and has changed the focal location according to the difference of line breadth.

[0042] The focal location amendment machine 14 of drawing 1 sets up the tilt angle of the parallel monotonous glass of the light-receiving optical system 12 so that Wafer W may be positioned in the location which added the above-mentioned offset part to the focal location detected with the focal position transducer 15. Next, a means to input the line breadth actually exposed is explained. First, the information on line breadth, for example, minimum line width, and the maximum line breadth are written in the bar code EC for discernment of Reticle R as one approach, the information on the line breadth is read by the bar code reader 22 of drawing 1, and how to tell to the focal location amendment machine 14 by making the information into a signal S2 can be considered. Moreover, it registers with the approach of inputting into the focal location amendment machine 14, whenever it performs amendment from a keyboard 24, or the data file for exposure, and how to call at the time of exposure etc. can be considered.

[0048] Next, the case where the detection approach of the focal location of this example

is used in the sequence of actual exposure actuation is explained briefly. first -- although it is the timing which the focal location detection system of a direct method is operated, and amends the location detection system of an indirect method (calibration) -- above -- this kind of equipment -- atmospheric pressure change and temperature -- changeful -- it is -- the device which amends by predicting change is equipped about the focal location change by exposure light absorption. Therefore, in order not to carry out the calibration by the focal location detection system not much frequently and to check a long-term change, usually it carries out about once day at 1 time per and one week. Since this kind of equipment is usually working in organization for 24 hours, it does not restrict that it is in the condition that the projection optics of the time of a calibration is stable enough, but it needs amendment like this example. Moreover, the sequence which making [ many ] the frequency of a calibration is also considered in order to secure the stability of a focal location depending on equipment, for example, is performed for every time of wafer exchange is also considered in spite of the time amount loss accompanying a calibration. In this case, especially the calibration by this example is effective.

[0044] Moreover, since the amount of spherical aberration is calculated every moment, when it is judged from the difference of the minimum line width of Reticle R, and the maximum line breadth according to this example that both focal location difference becomes large and trouble is caused to exposure at the time of exposure, the focal location amendment machine 14 of drawing 1 emits warning, and also suspending the detection actuation and the exposure actuation of a focal location by the location detection system of an indirect method is considered. Moreover, the pattern of line breadth with which plurality differs is prepared for the focal location detection system other than the above-mentioned example, the pattern of the line breadth near the line breadth of the actually exposed pattern is used, choosing, or a thin pattern and a thick pattern are prepared and direction for use which interpolates and amends between is also considered.

[0045] Next, the technique which adds amelioration to an illumination-light study system or a reticle pattern, and raises resolution with this latest kind of equipment is proposed. The method (two or more oblique illuminations) of changing whenever [ incident angle / of the flux of light which illuminates a reticle, for example ] (sigma value showing the so-called coherency of an illumination system) as amelioration of an illumination-light study system according to a pattern, illuminating in the shape of zona orbicularis, or performing lighting only from a certain specific direction is proposed. Moreover, there are some which used the phase shift pattern as amelioration of the

pattern of a reticle. Use of these approaches changes greatly the quantity of light distribution inside projection optics. For example, in the case of zona-orbicularis-like lighting or two or more oblique illuminations, near the pupil surface of projection optics, a beam of light strong against the core of a lens does not pass, and distributes, but when the sigma value of an illumination system is made small, a powerful beam of light passes along the core of a lens. This means that a difference appears in the temperature rise inside projection optics, and a difference occurs in the amount of spherical aberration to generate, as it is also in explanation of generating of the aforementioned amount of spherical aberration. Moreover, astigmatism may occur. In such a case, it is necessary to memorize beforehand the parameter of the aforementioned rate of change and an attenuation factor according to lighting conditions etc.

[0046] The above-mentioned example is an example which is using the light source with power fixed time almost like a mercury lamp as the light source 1. However, what is necessary is just to be able to apply this invention similarly, when using the light source from which it is pulse luminescence like excimer laser, and the power for every pulse differs, and to change a little the measurement part of the energy which passes the aforementioned projection optics in this case. For example, although the energy which passes projection optics PL by the open condition or closed state of the output of the photoelectrical sensor 17 and a shutter 2 was measured in the example of drawing 1 R>1. It asks for the transmission of Reticle R from the output difference of the photoelectrical sensor 17 with the time of there being nothing with the time of there being a reticle. The power for every pulse can be measured from the output signal S1 of the photoelectrical sensor 38, and it can ask for the energy which passes projection optics PL every moment from  $x(\text{transmission}) \times (\text{power}) \times (\text{blind area})$ .

[0047] Next, in the example of drawing 1, it explains per actuation in the case of forbidding focal location detection actuation. Since this actuation is simple actuation based on the amount of aberration calculated by the spherical-aberration computing element 13, it is explained briefly. Originally, since focal location measurement of the focal location detection system of a direct method measures long-term change of equipment, the view that it is contrary to original main point using the parameter of spherical-aberration change for which it asked beforehand as mentioned above is also realized.

[0048] In this case, what is necessary is just to perform focal location measurement in the stable condition that the exposure light IL always is not irradiated by projection optics PL. That is, what is necessary is just to perform calibration actuation, after stopping calibration actuation and exposure actuation and being in a stable state until

the temperature of projection optics PL is stabilized when it is going to perform calibration actuation and the temperature of projection optics PL is rising.

[0049] The concrete example of this approach is explained with reference to drawing 9. In drawing 9, exposure actuation is started from time of day t100, and the amount of spherical aberration is changing from this time of day. This amount of spherical aberration is calculated by the spherical-aberration computing element 13 like the above-mentioned case. The postexposure actuation is ended and it is time of day t101. When it is going to solve and a focal location detection system tends to perform the calibration of the location detection system of an indirect method, since the amount of spherical aberration is large, both exposure actuation and calibration actuation are suspended from allowed value A.L. of the amount of spherical aberration, and time of day t102 when the amount of spherical aberration becomes below allowed value A.L. up to -- it waits and a calibration is performed. According to this approach, a time loss is size as mentioned above, but the calibration of a focal location can be correctly performed in the condition that there is always no effect of spherical aberration. How to be application of this approach, for example, measure only within the time of a fixed aberration yield is also considered. That is, when it irradiates with a dummy when a lens is in a cooling condition, or irradiating too much, it is the approach of waiting for cooling, and if it will carry out in the amount of aberration with the highest possibility on use, there will be few time losses and they will end.

[0050] Since this approach corresponds to long-term change of equipment, it is also good to carry out about once day at 1 time per or one week, and if a calibration is performed by frequency of this level, the above-mentioned time loss should be able to also be permitted enough. Moreover, common use with the approach of amending a focal location according to the amount of spherical aberration etc. is also possible, the calibration for every wafer exchange can be performed by the approach of performing the amendment, as mentioned above, and the periodical check to a long-term change can also perform that the amount of spherical aberration etc. becomes below an allowed value by the approach for which it waits.

[0051] moreover, drawing 9 -- setting -- time of day t101 from -- time of day t102 up to -- although the case where it waited without doing anything was explained, an activity which exposure light does not start to projection optics PL is possible. For example, the base-line check of the alignment system which uses the alignment light in which reinforcement or a wavelength range differs from exposure light etc. may be performed.

[0052] Next, with reference to drawing 10 and drawing 11, it explains per other examples of this invention. This example also applies this invention to a stepper, gives

the same sign to the part corresponding to drawing 1 in drawing 10, and omits the detail explanation. The focal location detection system of the direct method used by this example applies the equipment currently indicated to JP,1-273218,A. Moreover, the spherical-aberration computing element 13 of drawing 1 is omitted by drawing 10. although this example is also used.

[0053] Drawing 10 shows the configuration of the whole equipment of this example, and the reference pattern 31 is formed near the wafer W on the wafer stage WS like the example of drawing 1 in this drawing 10. The exposure light II, injected from the light source 1 carries out incidence to end 33a of a fiber 33 by the shutter 2, and the exposure light injected from other end 33b of this fiber 33 illuminates a reference pattern 31 from a lower part through the illumination-light study system 32 inside wafer stage WS. A reference pattern 31 is the pattern FMX of drawing 11 (a) in the protection-from-light section. The light transmission section of a rectangle [ like ] is drawn and it is formed. The exposure light which passed the reference pattern 31 passes projection optics PL, and passes pattern space PA of Reticle R. It is Pattern FMX near the field through which the exposure light from the reference pattern 31 of Reticle R passes at this time. Pattern RMX which consists of the nontransparent section [ being almost the same (almost same / on Reticle R / in consideration of the scale factor of projection optics PL) ] It is drawn.

[0054] This pattern RMX It is arranged around Reticle R and located in the location which does not have effect in the pattern actually exposed. For example, it is possible to divert the positioning pattern of Reticle R. Pattern FMX And pattern RMX An image is further led to the photoelectrical sensors 35 and 36 with a half mirror 4 through a mirror 9 and Maine condensing lens 8 grade. The division mirror 36 is arranged in the pupil surface of the projection optics PL of the direction reflected from the half mirror 4, and a location [ \*\*\*\* / almost ], and this division mirror 36 divides mostly the flux of light from a half mirror 4 into division into equal parts, and supplies it to the photoelectrical sensors 35 and 36. For this reason, the chief ray of the two divided flux of lights has an inclination to the optical axis of projection optics PL, as shown in drawing 10.

[0055] 34 shows a focal position transducer and supplies the positional information of the specimen plane detected by this focal position transducer 34 by the light-receiving optical system 12 at the detecting-signal list of the photoelectrical sensors 35 and 36. Moreover, on the trolley table of the wafer stage WS, a mirror 39 is arranged and the laser beam from a laser interferometer 38 is reflected by the mirror 39. Thereby, a laser interferometer 36 measures the coordinate in a field perpendicular to the optical axis of interferometer 38

the projection optics PL of the wafer stage WS, and supplies this measured coordinate information to the focal position transducer 34. Now, when detecting a focal location, the focal position transducer 34 moves the location of the wafer stage WS, acting as the monitor of the measurement coordinate of a laser interferometer 38, and it is Pattern FMX. Pattern RMX A relative position is mostly set as the condition of drawing 11 (a). The laser interferometer 38 of drawing 10 measures spacing of an internal fixed mirror and the mirror 39 on the wafer stage WS, and the stage location of a direction (the direction of X) parallel to the space of drawing 10 is measured.

[0056] Next, the focal position transducer 34 detects the output signal of the light-receiving optical system 12, and operates the Z-axis drive system 25, moves the reference pattern 31 of the wafer stage WS in the only Z directions from the place considered to be the focal location of projection optics PL (let this be a coordinate Z1), and scans the wafer stage WS in the direction of X. At this time, the focal position transducer 34 receives the X coordinate of the wafer stage WS and the detecting signal of the photoelectrical sensors 35 and 36 by the laser interferometer 38 to coincidence. As a result, a wave like drawing 11 (b) is acquired. Signal S4 of drawing 6 R> 6 (b) and S5 are the detecting signals of the photoelectrical sensors 35 and 36 respectively, and are a coordinate X1 respectively. And X2 The quantity of light serves as min. And pattern FMX Pattern RMX When it laps, the whole quantity of light serves as min. That is, since the chief ray of the two flux of lights divided as mentioned above is slanting to the chief ray of projection optics PL, if a reference pattern 31 and the pattern side of Reticle R are not conjugate, it is Pattern FMX at each flux of light. Pattern RMX Drawing 11 (b) means that a relative position shifts in the direction of X, and it is visible.

[0057] Next, the reference pattern 31 of the wafer stage WS is moved to last time and hard flow from the place considered to be the focal location of projection optics PL (this is set to Z2), the same thing is repeated, and two coordinates X1' and X2' from which the quantity of light becomes min are obtained. Consequently, a graph like drawing 11 (c) can be drawn and it is a coordinate X1 from this drawing 11 (c). Coordinate X2 Focal location Z0 which is a point without a location gap It can ask. If it asks for 2 slopes of a line of drawing 11 (c) beforehand, it will be a coordinate Z1. It is the focal location Z0 only by measuring once. Asking is also possible. Although this approach's having also unarranged [ that a focal location is undetectable centering on the optical axis of projection optics PL ] in the actually used reticle, the advantage that time amount does not cut in the remainder is in measurement.

[0058] Moreover, there is the contrast detecting method by the image processing etc. as other examples. For example, from Reticle R top, the pattern on a reticle is observed

under a microscope, contrast is detected with a light-and-darkness difference etc. to the image which carried out photoelectrical detection with the CCD camera etc., and focusing is performed. The method of asking for the conjugation relation between a reticle and a wafer stage is also proposed by observing the pattern on a wafer stage and next, doubling a focal location then.

[0059] In addition, as for this invention, it is needless to say that configurations various in the range which is not limited to the above-mentioned example and does not deviate from the summary of this invention can be taken.

[0060]

[Effect of the Invention] Since according to the 1st projection optics equipment of this invention amendment of a focal location is performed according to it even if spherical aberration or astigmatism occurs by absorption of the 1st illumination light by projection optics, good focusing can be performed. Moreover, since the operation part of the focal location amendment device by the illumination-light absorption provided to this conventional kind of equipment can be used for this invention as it is, it also has the advantage which does not need big reconstruction of equipment.

[0061] Moreover, since according to the 2nd projection optics equipment focusing is not performed when the spherical aberration or the astigmatism more than an allowed value occurs in projection optics, mistaken focusing is not performed.

---

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the whole stepper configuration of one example of the projection optics equipment by this invention.

[Drawing 2] It is the top view showing an example of the reference pattern 18 of drawing 1.

[Drawing 3] It is the principle explanatory view of the focal location detection system of the example of drawing 1.

[Drawing 4] It is the wave form chart showing the condition of the detecting signal in the case of drawing 3.

[Drawing 5] It is a mimetic diagram for explaining spherical aberration.

[Drawing 6] It is the diagram showing the example of change of the focal location to different line breadth by the spherical aberration accompanying exposure light absorption.

[Drawing 7] It is the explanatory view of an example of the method of calculating the spherical-aberration computing element 13 of drawing 1, and the diagram in which (a) shows change of the amount of spherical aberration, and (b) are the diagrams showing change of the amount of energy to projection optics.

[Drawing 8] It is the diagram showing the relation between the difference of the line breadth under the different amount of spherical aberration, and the variation of a focal location.

[Drawing 9] It is the diagram in the example of drawing 1 with which explanation of different calibration actuation is presented.

[Drawing 10] It is the block diagram in the stepper of other examples of this invention mainly showing the configuration of a focal location detection system.

[Drawing 11] It is the principle explanatory view of the focal location detection system of the example of drawing 10.

### [Description of Notations]

1 Light Source

2 Shutter

4 Half Mirror

6 Adjustable Blind

11 Exposure Optical System

12 Light-receiving Optical System

13 Spherical Aberration Computing Element  
14 Focal Location Amendment Machine  
15 Focal Position Transducer  
16, 17, 21, 38 Photoclectrical sensor  
18 Reference Pattern  
19 Illumination Light Study System  
20 Dichotomy Fiber  
22 Bar Code Reader  
23 Storage  
24 Keyboard  
R Reticle  
W Wafer  
PL Projection optics  
WS Wafer stage

---

---

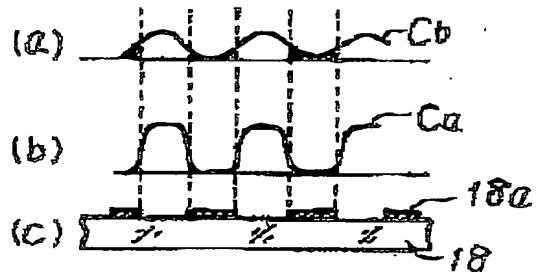
## DRAWINGS

---

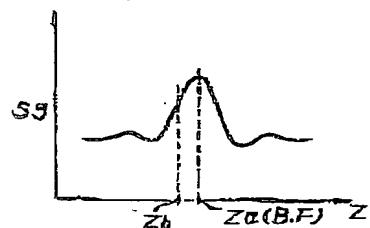
[Drawing 2]



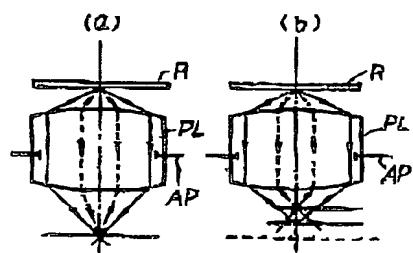
[Drawing 3]



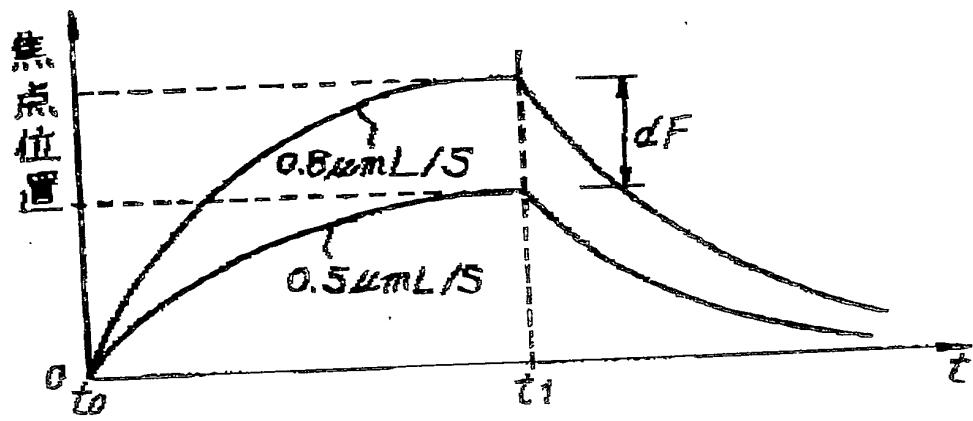
[Drawing 4]



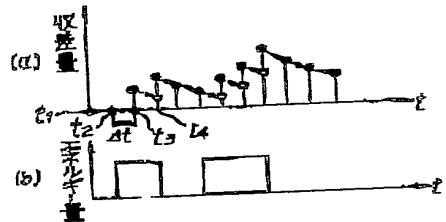
[Drawing 5]



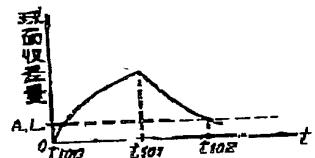
[Drawing 6]



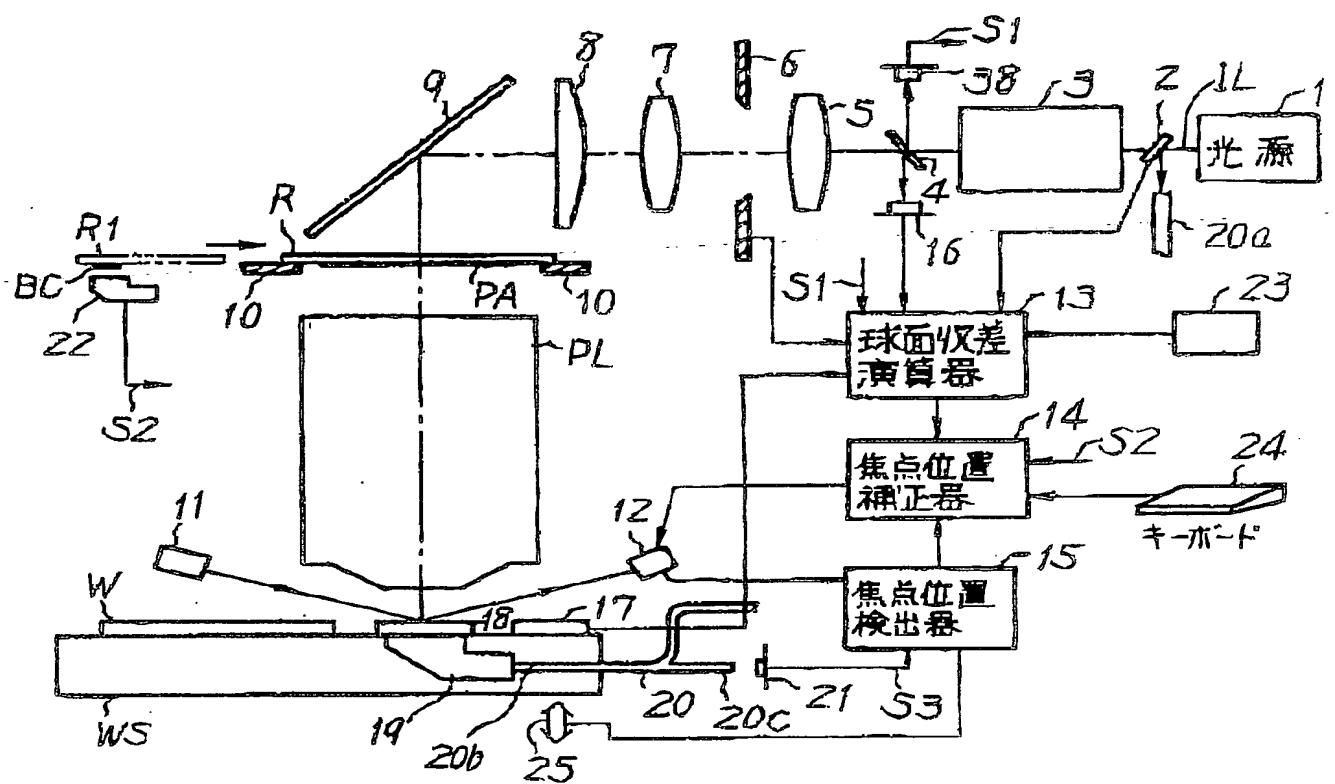
[Drawing 7]



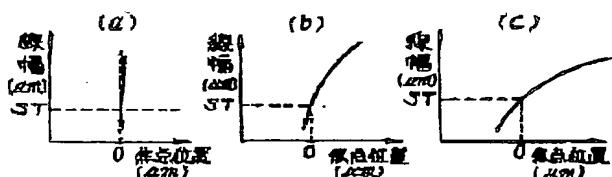
[Drawing 9]



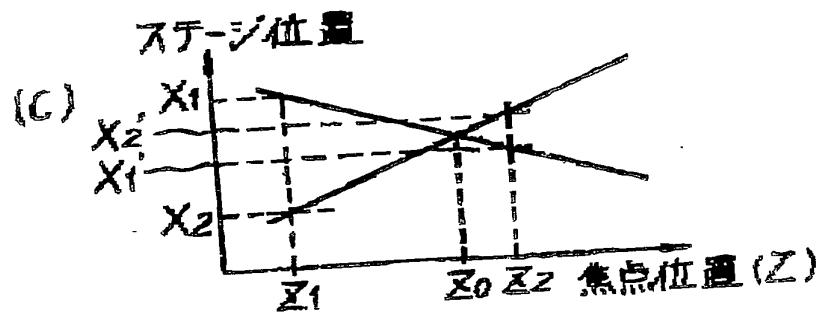
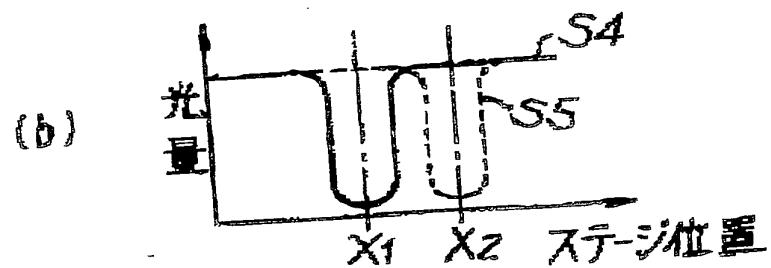
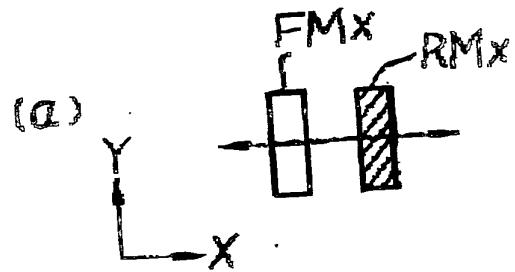
[Drawing 11]



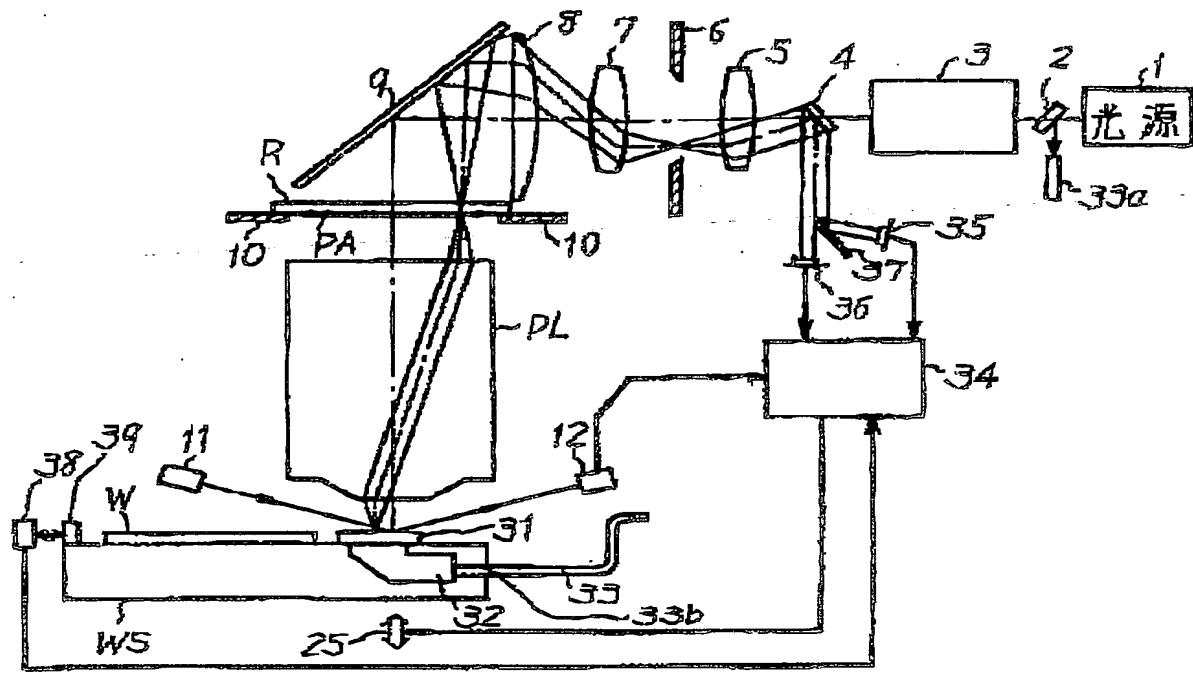
[Drawing 8]



[Drawing 11]



[Drawing 10]



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**